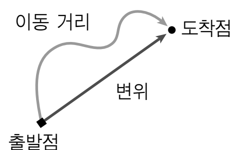
01. 운동의 기술

1. 이동 거리와 변위



[이동 거리와 변위]

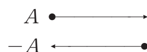
(1) 이동 거리 : 물체가 운동했을 때, 물체가 지나간 경로를 따라 측정한 거리로 물체가 실제로 이동한 거리이다.

(2) 변위 : 어느 시간 동안 물체가 운동했을 때, 중간의 이동 경로와는 관계없이 출발점에서 도착점을 잇는 벡터❶이다.

① 크기 : 출발점과 도착점 사이의 직선 거리

② 방향 : 출발점에서 도착점을 향하여 그린 화살표의 방향

❶ 벡터란 속도, 가속도, 힘 등과 같이 크기 뿐 아니라, 방향도 고려해 주어야 하는 물리량을 표현할 때 사용되는 개념이다.



크기는 같으나 방향이 반대이므로 한쪽에 (−) 부호를 붙인다.

2. 속력과 속도

(1) 평균 속력과 순간 속력

① 평균 속력($v_{평균}$) : 이동 거리(Δs)를 걸린 시간(Δt)으로 나누어 준 값

$$v_{평균}=\frac{\Delta s}{\Delta t}$$

② 순간 속력($v_{순간}$) : 매우 짧은 시간 동안의 평균 속력, 즉 걸린 시간 $\Delta t \rightarrow 0$일 때의 평균 속력을 의미한다. $\lim\limits_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta s}{\Delta t}$

③ 이동 거리－시간 그래프에서 어느 두 점 사이의 기울기가 평균 속력, 어느 한 점에서의 접선의 기울기가 순간 속력이다.

④ 속력의 단위 : m/s, km/h 등

(2) 평균 속도와 순간 속도

① 평균 속도($v_{평균}$) : 변위(Δs)를 걸린 시간(Δt)으로 나누어 준 값

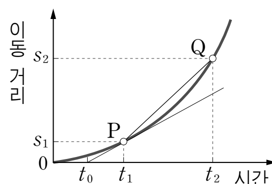
$$v_{평균}=\frac{\Delta s}{\Delta t}$$

② 순간 속도($v_{순간}$) : 매우 짧은 시간 동안의 평균 속도, 즉 걸린 시간 $\Delta t \rightarrow 0$일 때의 평균 속도를 의미한다. $\lim\limits_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta s}{\Delta t}$

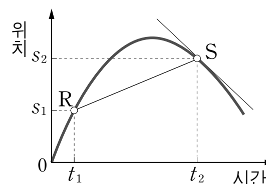
③ 위치−시간 그래프에서 어느 두 점 사이의 기울기가 평균 속도, 어느 한 점에서의 접선의 기울기가 순간 속도이다.

④ 속도의 단위 : m/s, km/h 등

- $\overline{PQ}$의 기울기＝평균 속력
- 점 P에서의 접선의 기울기＝순간 속력
- $\overline{RS}$의 기울기＝평균 속도
- 점 S에서의 접선의 기울기＝순간 속도



[이동 거리－시간 그래프]



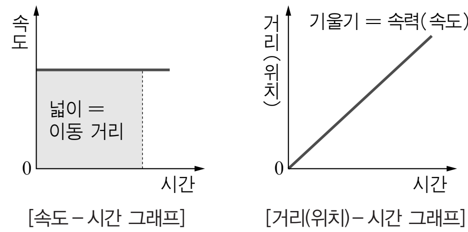
[위치－시간 그래프]

(3) 등속도 운동

① 속도가 일정한 운동, 즉 속력과 운동 방향이 일정한 운동

② 이동 거리(s) : 이동 거리＝속도× 시간 $s=v\times t$

③ 등속도 운동의 그래프



[속도-시간 그래프]　[거리(위치)-시간 그래프]

3. 상대 속도

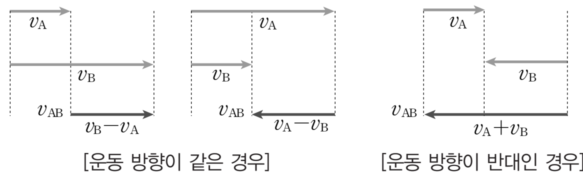
(1) 상대 속도 : 서로 운동하는 물체들 중 한 물체에서 다른 물체를 관찰했을 때, 관측자에 대한 상대 물체의 속도를 상대 속도라고 한다.

(2) 상대 속도의 계산 : 운동하는 관측자 A에 대한 운동하는 물체 B의 상대 속도(v_{AB})는 다음과 같다.

$v_{AB}=v_B-v_A$ (v_A : A의 속도, v_B : B의 속도)

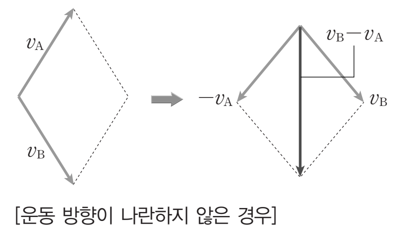
① 두 물체의 운동 방향이 나란한 경우

- 운동 방향이 같은 경우 : 상대 속도의 크기는 두 물체의 속도의 크기의 차와 같고, 방향은 관측자의 속도가 더 작은 경우 관측자의 운동 방향, 관측자의 속도가 더 큰 경우 관측자의 운동 반대 방향
- 운동 방향이 반대인 경우 : 상대 속도의 크기는 두 물체의 속도의 크기의 합과 같고, 방향은 관측자의 운동 반대 방향



[운동 방향이 같은 경우]　[운동 방향이 반대인 경우]

② 두 물체의 운동 방향이 나란하지 않은 경우 : 두 벡터를 평행사변형법 또는 삼각형법으로 합성하여 상대 속도를 구한다.



[운동 방향이 나란하지 않은 경우]

4. 가속도

(1) 가속도(a) : 물체가 운동하는 동안에 속도가 변하는 경우 속도의 변화율을 가속도라고 한다. 속도의 변화율이므로 가속도 a는 방향을 갖는 벡터량이다.

(2) 평균 가속도($a_{평균}$)

① 물체가 운동하면서 속도가 변할 때, 속도 변화량(Δv)을 걸린 시간(Δt)으로 나누어 준 값을 평균 가속도($a_{평균}$)라고 한다. $a_{평균}=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$

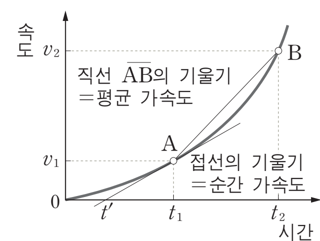
② 속도-시간 그래프의 어느 두 점 사이의 기울기가 평균 가속도이다.

(3) 순간 가속도($a_{순간}$)

① 매우 짧은 시간 동안의 평균 가속도, 즉 $\Delta t \rightarrow 0$일 때의 평균 가속도를 순간 가속도라고 한다. $a_{순간}=\lim\limits_{\Delta t \to 0}\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$

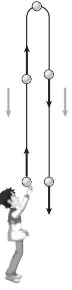
② 속도-시간 그래프의 어느 한 점에서의 접선의 기울기가 순간 가속도이다.

(4) 가속도의 단위 : m/s^2, cm/s^2 등



[평균 가속도와 순간 가속도]

5. 가속도 운동


[연직 위로 던진 공의 운동]

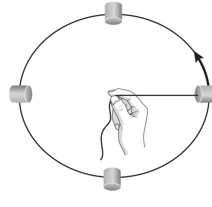
(1) 가속도 운동 : 속도가 변하는 운동, 즉 가속도를 가지는 운동을 가속도 운동이라고 한다.

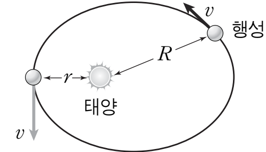
(2) 가속도 운동의 예

① 직선 운동을 하면서 속도가 변하는 운동

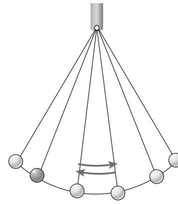
- 직선상에서 속도가 증가하거나 감소하는 운동
- 연직 위로 던진 물체의 운동

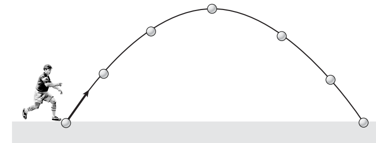
② 운동 방향이 계속 변하는 운동 : 원운동, 타원 운동, 포물선 운동, 진자의 운동 등


[원운동]



[타원 운동]


[진자의 운동]


[포물선 운동]

6. 등가속도 직선 운동의 관계식

(1) 등가속도 운동(a= 일정) : 가속도가 일정한 운동, 즉 속도의 변화량이 일정한 운동을 등가속도 운동이라고 한다.

(2) 속도와 가속도의 관계

$v=v_0+at$ …… ①

(v : 시간 t가 지났을 때의 속도, v_0 : 처음 속도, a : 가속도, t : 걸린 시간)

- 등가속도 운동의 평균 속도는 처음 속도와 나중 속도의 평균값으로도 구할 수 있다.

$$v_{평균}=\frac{처음\ 속도+나중\ 속도}{2}$$

(3) 변위와 가속도의 관계

$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ …… ②

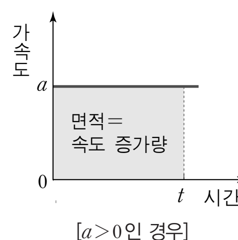
(s : 변위, 운동 방향이 변하지 않는 경우 이동 거리와 같다.)

(4) 변위와 속도, 가속도의 관계

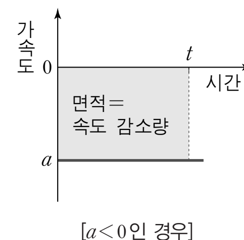
$2as=v^2-v_0^2$ (①과 ②의 식에서 시간 t를 소거하면 얻어진다.)

7. 등가속도 운동 그래프의 해석

(1) 가속도 – 시간 그래프



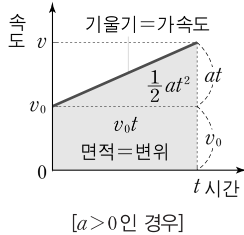
[$a>0$인 경우]



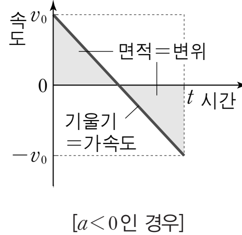
[$a<0$인 경우]

① 그래프와 시간 축 사이의 면적
- $a>0$ 인 경우 : 속도의 증가량($=+at$)
- $a<0$ 인 경우 : 속도의 감소량($=-at$)

(2) 속도-시간 그래프



[$a>0$ 인 경우]

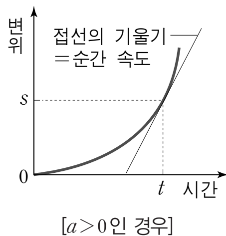


[$a<0$ 인 경우]

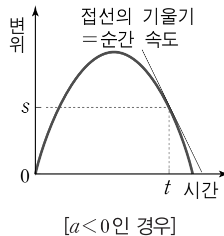
① 그래프의 기울기 : 가속도 a
- $a>0$ 인 경우 : 속도 증가
- $a<0$ 인 경우 : 속도 감소

② 그래프와 시간 축 사이의 면적 : 변위 s
- $v>0$ 인 경우 : 변위 증가
- $v<0$ 인 경우 : 변위 감소

(3) 변위-시간 그래프



[$a>0$ 인 경우]



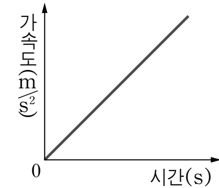
[$a<0$ 인 경우]

① $a>0$ 인 경우 : $v_0 \geqq 0$ 이면 변위가 계속 증가하고, $v_0<0$ 이면 변위가 감소하다가 증가한다.

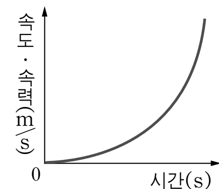
② $a<0$ 인 경우 : $v_0>0$ 이면 변위가 증가하다가 감소하고, $v_0 \leqq 0$ 이면 변위가 계속 감소한다.

③ 그래프의 기울기
- 임의의 두 점을 잇는 직선의 기울기 : 평균 속도
- 임의의 한 점에서의 접선의 기울기 : 순간 속도

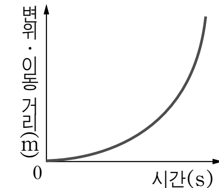
- 직선상에서 가속도가 변하는 운동의 그래프 해석



[가속도-시간 그래프]



[속도-시간, 속력-시간 그래프]



[변위-시간, 이동 거리-시간]

02. 운동의 기록 및 분석

1. 운동의 기록

(1) 시간 기록계와 종이 테이프를 이용한 운동의 기록 : 운동 방향이 변하지 않는 직선 운동의 경우에 시간 기록계를 이용하여 쉽게 물체의 운동을 기록할 수 있는 방법이다.

① 시간 기록계 : 일정한 시간 간격으로 타점을 찍는 장치로, 물체의 운동을 기록하는 실험을 하는 데 쓰인다. 보통 1초에 60타점을 찍는 시간 기록계의 진동수를 60Hz라 하며, 이때의 타점 주기는 $\frac{1}{60}$초이다.

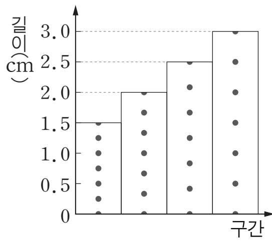
② 종이 테이프의 분석 : 일정한 타점 단위[2]로 구간을 나누어 운동을 분석한다.

• 종이 테이프를 분석할 때 유의 사항 : 종이 테이프의 운동 방향을 알아야 한다. 종이 테이프에 운동 방향 쪽에 찍힌 타점이 먼저 찍힌 것이다.

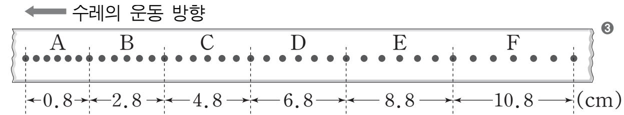
③ 각 구간 길이는 속도를 의미한다.

④ 이웃한 구간의 길이의 차는 가속도를 의미한다.

❷ 타점 기록을 이용한 속력 – 시간 그래프



[종이 테이프를 잘라 붙인 그림]



❸ 타점 분석

구간	A	B	C	D	E
구간 속력 (cm/6타점)	0.8	2.8	4.8	6.8	8.8
구간 가속도 (cm/(6타점)²)	2.0	2.0	2.0	2.0	

➡ 가속도가 2.0cm/(6타점)²인 등가속도 운동

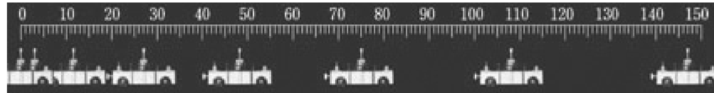
(2) 다중 섬광 사진을 이용한 운동의 기록 : 일정 시간 간격으로 켜졌다 꺼졌다를 반복하는 섬광 장치를 작동시킨 후, 물체의 운동을 한 장의 필름에 찍는 방법이다.

① 다중 섬광 사진의 분석 : 사진에 찍힌 물체의 이웃한 상 사이의 시간은 섬광 장치의 주기이다.

• 다중 섬광 사진을 분석할 때 유의 사항 : 사진에 찍힌 물체의 운동 방향을 알아야 한다. 운동 방향 쪽에 찍힌 상이 나중에 찍힌 것이다.

② 이웃한 상 사이의 거리는 속력을 의미한다.

③ 이웃한 구간의 거리의 차이는 가속도를 의미한다.



03. 힘

1. 힘

(1) 힘의 정의 : 물체의 운동 상태를 변화시키거나 모양을 변화시키는 원인을 힘이라고 한다.

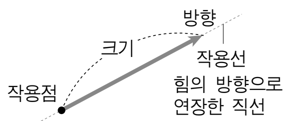
(2) 힘의 3요소 : 힘의 작용점, 힘의 방향, 힘의 크기

① 힘의 표시 : 힘의 작용점에서 시작하여 크기와 방향을 화살표[4]로 나타낸다.

② 힘의 단위 : N(뉴턴), kgf(킬로그램 힘) 등

• 1kgf=9.8N

❹ 힘을 어느 한 점에서 시작하여 방향과 크기를 화살표로 표시하는 것으로부터 힘은 벡터량이라는 것을 알 수 있다.

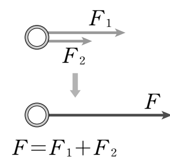


2. 힘의 합성

(1) 힘의 합성 : 한 점 또는 물체에 여러 힘이 작용할 때, 물체에는 마치 어떤 한 힘이 작용하는 것과 같은 현상이 일어난다. 이러한 한 힘을 구하는 것을 힘의 합성이라고 하며, 이렇게 구해진 힘을 합력이라고 한다.

(2) 두 힘의 합력

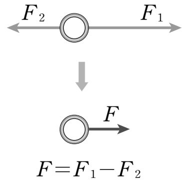
① 두 힘의 방향이 같을 때



• 합력의 크기 : 두 힘의 크기의 합

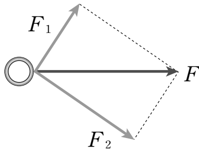
• 합력의 방향 : 두 힘의 방향

② 두 힘의 방향이 반대일 때



- 합력의 크기 : 두 힘의 크기의 차
- 합력의 방향 : 두 힘 중 큰 힘의 방향

③ 두 힘의 방향이 평행하지 않을 때



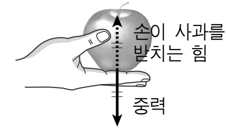
- 합력의 크기 : 두 힘 벡터의 합성 벡터의 크기
- 합력의 방향 : 두 힘 벡터의 합성 벡터의 방향

(2) 힘의 평형[5] : 한 물체에 여러 힘이 작용하여 합력이 0이 되는 상태

① 두 힘의 평형 : 두 힘의 크기가 같고, 방향이 반대일 때

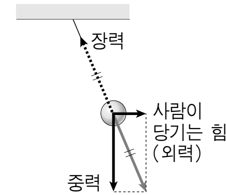
② 세 힘의 평형 : 임의의 두 힘의 합력과 나머지 한 힘의 합력이 0일 때

❺ 힘의 평형의 예



[두 힘의 평형]

손이 사과를 받치는 힘과 사과에 작용하는 중력이 평형을 이룬다.



[세 힘의 평형]

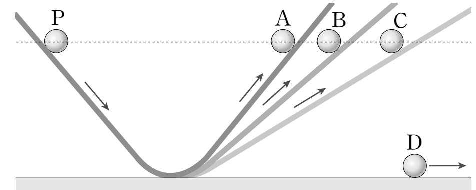
사람이 당기는 힘과 물체에 작용하는 중력 및 장력이 평형을 이룬다.

04. 운동의 법칙

1. 운동 제 1법칙(관성의 법칙)

(1) 관성 : 물체에 작용하는 합력이 0일 때, 물체의 운동 상태를 그대로 유지하려는 성질을 관성이라고 한다.

(2) 갈릴레이의 사고 실험 : 두 경사면을 마주보게 설치하고, 한쪽 경사면에서 공을 굴리면 공은 마주한 경사면을 처음 높이와 같은 높이가 될 때까지 올라간다. 이때, 올라가는 경사면의 경사각을 점점 작게 하면 같은 높이까지 올라가는 동안 이동하는 경사면의 길이가 점점 길어지게 되고, 경사각이 0°가 되면 물체는 일정한 속도로 수평면 상을 계속 운동한다고 생각하였다.



[갈릴레이의 사고 실험]

(3) 관성의 법칙(운동 제 1법칙) : 물체에 작용하는 합력이 0이면 정지하고 있던 물체는 계속 정지 상태로 있고, 운동하고 있던 물체는 등속도 운동을 한다. 이를 관성의 법칙(운동 제 1법칙)이라고 한다.

(4) 관성에 의해 일어나는 현상

① 달리던 버스가 정지하면 버스 안의 승객은 계속 운동하려는 관성[6]에 의해 앞쪽으로 쏠린다.

② 정지해 있던 버스가 갑자기 출발하면 버스 안의 승객은 정지해 있으려는 관성[7]에 의해 뒤쪽으로 쏠린다.

③ 걸어가거나 달려가다가 돌부리에 발이 걸리면 앞으로 넘어진다.

④ 실에 매달아 원운동시키던 물체는 실이 끊어지면 그 순간 속도의 방향으로 등속 직선 운동한다.

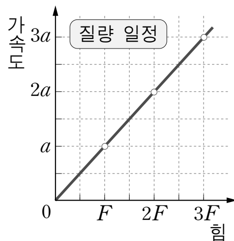
⑤ 컵 위에 종이를 덮고, 그 위에 동전을 올려놓은 후 종이를 재빨리 잡아 빼면 동전은 그대로 컵 속으로 떨어진다.

⑥ 동전을 쌓아놓고 제일 밑의 동전을 자로 세게 치면 자로 친 동전만 튕겨 나오고, 나머지 동전들은 그 자리에 계속 쌓여 있다.

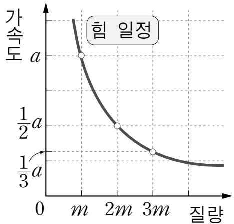
❻ 운동 관성 : 운동하려는 물체는 계속 운동하려는 성질이 있다.

❼ 정지 관성 : 정지해 있던 물체는 계속 정지해 있으려는 성질이 있다.

2. 운동 제 2법칙(가속도의 법칙)



[가속도 – 힘 그래프]



[가속도 – 질량 그래프]

(1) 힘과 가속도, 질량과 가속도의 관계

① 힘과 가속도의 관계 : 물체에 작용하는 합력이 0이 아니고 질량이 일정하면, 물체는 합력의 크기에 비례하고 합력의 방향과 같은 방향을 갖는 가속도 운동을 한다.

$a \propto F$

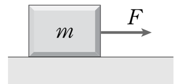
② 질량과 가속도의 관계 : 물체에 작용하는 합력이 0이 아니고 크기가 일정하면, 물체는 질량에 반비례하고, 합력의 방향과 같은 방향을 갖는 가속도 운동을 한다.

$a \propto \frac{1}{m}$

③ 힘, 질량, 가속도의 관계 : 물체에 작용하는 합력이 0이 아니면 물체는 합력의 크기에 비례하고, 질량에 반비례하며, 합력과 같은 방향으로 가속도 운동을 한다.

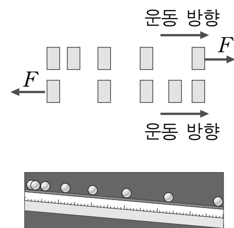
$a \propto F \times \frac{1}{m}$, $a = k\frac{F}{m}$

이때, 1kg의 물체에 작용하여 $1 m/s^2$의 가속도를 갖게 하는 힘의 크기를 1N으로 정의하면 $k=1$로 되어 사라지며



$a = \frac{F}{m}$, $F = ma$, $1N = 1kg \cdot m/s^2$

의 식이 얻어지는데, $F=ma$를 운동 방정식이라고 한다.



[운동 제 2법칙이 적용되는 경우]

(2) 운동 제 2법칙이 적용되는 경우

① 수평면에서 물체에 힘을 작용하였을 때, 속력이 점점 빨라지거나 느려지는 경우

② 경사면에 놓인 물체가 속력이 점점 빨라지며 아래쪽으로 내려오는 경우

③ 높은 곳에서 가만히 떨어뜨린 물체가 속력이 점점 빨라지며 아래쪽으로 떨어지는 경우

④ 위로 던져 올린 물체의 속력이 점점 느려지다가 정지한 후, 아래로 점점 빨라지는 경우

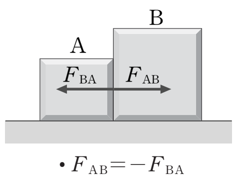
⑤ 줄에 매달린 물체를 원운동 시킬 때 운동 방향이 계속 변하는 경우

3. 운동 제 3법칙(작용 · 반작용의 법칙)

(1) 작용과 반작용의 관계 : 힘은 항상 쌍으로 작용한다. 즉, 어떤 물체 A가 다른 물체 B에 힘(작용)을 가하면, 동시에 물체 B도 물체 A에 힘(반작용)을 가한다.

(2) 작용 · 반작용의 법칙 : 어떤 물체 A가 다른 물체 B에 가한 힘(작용)을 F_{AB}라 하고, 물체 B가 물체 A에 가한 힘(반작용)을 F_{BA}라고 하면, $F_{AB} = -F_{BA}$의 관계를 만족한다. 즉, 작용과 반작용은 크기는 같고 방향은 서로 반대인 관계를 갖는데, 이를 운동 제 3법칙(작용 · 반작용의 법칙)[8]이라고 한다.

❽ 작용과 반작용



• $F_{AB} = -F_{BA}$

(3) 작용 · 반작용의 법칙이 적용되는 예

① 두 사람이 손바닥을 마주 대고 서 있다가 한 사람이 상대를 밀면, 자신도 뒤로 밀리는 힘을 받는다.

② 바닥에 있는 물체에 줄을 매달아 끌고 갈 때, 자신도 뒤로 당겨지는 힘을 받는다.

③ 바퀴가 달린 회전 의자에 앉아 벽에 손을 대고 벽을 밀었을 때, 벽은 가만히 있고, 자신이 타고 있는 회전 의자가 반대쪽으로 밀려 벽으로부터 멀어진다.

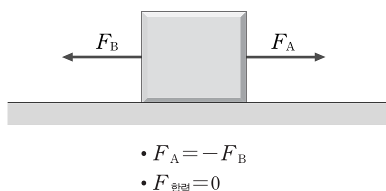
④ 기둥에 줄을 매고, 반대쪽 끝에서 줄을 힘껏 당기면 자신이 기둥 쪽으로 끌려간다.

(4) 힘의 평형을 이루는 두 힘[9]과 작용 · 반작용 관계의 두 힘의 차이

① 힘의 평형 관계의 두 힘 : 두 힘이 한 물체에 작용하고, 크기는 같고 방향은 반대이며, 동일 직선상에서 작용한다.

② 작용 · 반작용 관계의 두 힘 : 두 힘이 서로 상대 물체에 작용하고, 크기는 같고 방향은 반대이며, 동일 직선상에서 작용한다.

❾ 힘의 평형



• $F_A = -F_B$
• $F_{합력} = 0$

05. 운동 방정식의 적용

1. 운동 방정식의 적용

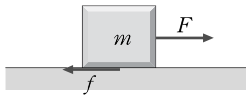
(1) 운동 방정식을 적용할 때는 물체에 작용하는 모든 힘을 표시하고, 합력을 구하여 $F=ma$의 식을 적용해야 한다.

(2) 줄로 연결된 물체들은 같은 크기의 가속도를 가지고 운동하며, 동일 직선상에 있는 경우 가속도의 방향도 같다.

2. 운동 방정식의 적용 예

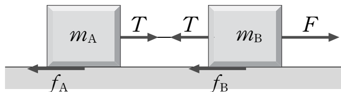
(1) 동일 직선상에서의 운동 방정식의 적용

① 단일 물체에 힘이 작용하는 경우



$$F-f=ma \quad a=\frac{F-f}{m}$$

② 연결된 두 물체에 힘이 작용하는 경우 : 각각의 물체에 대하여 운동 방정식을 적용한다. (단, $a_{\mathrm{A}}=a_{\mathrm{B}}$)



$$T-f_{\mathrm{A}}=m_{\mathrm{A}}a,\ F-T-f_{\mathrm{B}}=m_{\mathrm{B}}a$$

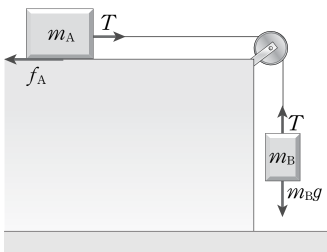
$$a=\frac{F-f_{\mathrm{A}}-f_{\mathrm{B}}}{m_{\mathrm{A}}+m_{\mathrm{B}}}$$

$$T=f_{\mathrm{A}}+m_{\mathrm{A}}\times\frac{F-f_{\mathrm{A}}-f_{\mathrm{B}}}{m_{\mathrm{A}}+m_{\mathrm{B}}}$$

$$=F-f_{\mathrm{B}}-m_{\mathrm{B}}\times\frac{F-f_{\mathrm{A}}-f_{\mathrm{B}}}{m_{\mathrm{A}}+m_{\mathrm{B}}}$$

(2) 동일 직선상이 아닌 경우 운동 방정식의 적용

① 연결된 두 물체가 수평과 연직 방향으로 운동하는 경우 : 물체들의 가속도의 크기는 같다.



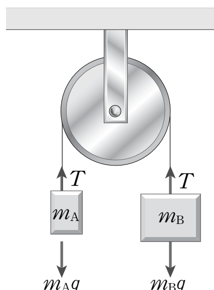
$$T-f_{\mathrm{A}}=m_{\mathrm{A}}a,\ m_{\mathrm{B}}g-T=m_{\mathrm{B}}a$$

$$a=\frac{m_{\mathrm{B}}g-f_{\mathrm{A}}}{m_{\mathrm{A}}+m_{\mathrm{B}}}$$

$$T=f_{\mathrm{A}}+m_{\mathrm{A}}\times\frac{m_{\mathrm{B}}g-f_{\mathrm{A}}}{m_{\mathrm{A}}+m_{\mathrm{B}}}$$

$$=m_{\mathrm{B}}g-m_{\mathrm{B}}\times\frac{m_{\mathrm{B}}g-f_{\mathrm{A}}}{m_{\mathrm{A}}+m_{\mathrm{B}}}$$

② 동일 수직면상에서 운동하나 운동 방향이 다른 경우 : 물체들의 가속도의 크기는 같다. 이때, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다. (단, $m_{\mathrm{B}}>m_{\mathrm{A}}$)



$$m_{\mathrm{B}}g-T=m_{\mathrm{B}}a,\ T-m_{\mathrm{A}}g=m_{\mathrm{A}}a$$

$$a=\frac{m_{\mathrm{B}}-m_{\mathrm{A}}}{m_{\mathrm{A}}+m_{\mathrm{B}}}g$$

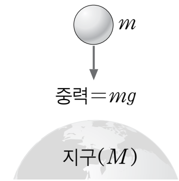
$$T=m_{\mathrm{B}}g-m_{\mathrm{B}}\times\frac{m_{\mathrm{B}}-m_{\mathrm{A}}}{m_{\mathrm{A}}+m_{\mathrm{B}}}g$$

$$=m_{\mathrm{A}}g+m_{\mathrm{A}}\times\frac{m_{\mathrm{B}}-m_{\mathrm{A}}}{m_{\mathrm{A}}+m_{\mathrm{B}}}g$$

06. 여러 가지 힘

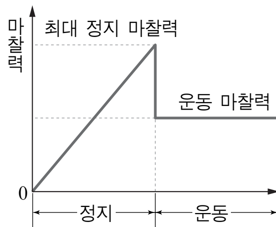
• 중력의 원인
중력은 지구와 물체 사이에 작용하는 만유 인력에 의해 발생한다.
$F=\frac{GMm}{R^2}$
• G : 만유 인력 상수
• M : 지구의 질량
• R : 지구의 반지름
➡ $g=\frac{GM}{R^2}$

1. 중력



(1) 중력 : 지구 주위에 있는 물체는 항상 지구 중심을 향하는 힘을 받는데, 이를 중력이라고 한다.
(2) 중력 가속도 : 지구 표면 근처에 있는 물체를 자유 낙하시키면 중력에 의해 등가속도 운동을 하며 낙하하는데, 지구 중력에 의한 가속도를 중력 가속도라고 한다. 이때, 중력 가속도의 크기는 질량에 상관없이 항상 일정한 값을 가지며, g로 표시한다.　$g=9.8\text{m/s}^2$
(3) 중력의 크기 : 물체의 질량에 중력 가속도를 곱한 값, $F_{중력}=mg$

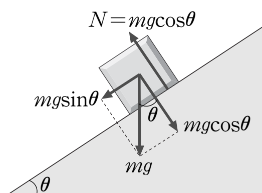
2. 마찰력



[외력과 마찰력의 관계]

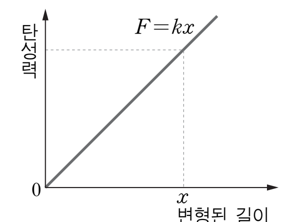
(1) 마찰력 : 두 물체의 접촉면에서 상대 물체의 운동을 방해하도록 작용하는 힘을 마찰력이라고 한다. 마찰력은 항상 물체의 운동 방향과 반대 방향으로 작용하며, 작용 · 반작용에 의한 상호 작용력이다.
(2) 정지 마찰력 : 수평면 위에 놓인 물체에 수평 방향으로 힘을 작용할 때, 물체가 정지해 있으면, 물체에는 외력과 크기는 같고 방향은 반대인 마찰력이 작용하는데, 이를 정지 마찰력이라고 한다. 정지 마찰력의 크기는 일정하지 않다.
(3) 최대 정지 마찰력 : 수평면 위에 놓인 물체에 수평 방향으로 작용하는 힘을 계속 증가시켜 주면 어느 순간 움직이는데, 물체가 움직이는 순간 작용한 마찰력을 최대 정지 마찰력이라고 하며, 움직이는 순간 작용한 힘과 크기는 같고 방향은 반대이다.

• 경사면에서의 수직 항력



① 수직 항력(N) : 물체가 면으로부터 면에 수직한 방향으로 받는 힘으로 물체가 면에 작용하는 힘에 대한 반작용이다. 수평면에서는 물체에 작용하는 중력과 같다.　$N=mg$
② 최대 정지 마찰력의 크기(f) : 최대 정지 마찰력은 수직 항력에 비례하며, $f=\mu N=\mu mg$로 나타낸다. 최대 정지 마찰력은 접촉면의 넓이와는 상관없고, 수직 항력과 접촉면의 상태에 의해서만 달라진다.
③ 정지 마찰 계수(μ) : 최대 정지 마찰력의 크기를 나타내는 식에서 비례 상수 μ를 정지 마찰 계수라고 하는데, 접촉면의 성질에 따라 달라진다.
(4) 운동 마찰력 : 물체가 움직이는 동안 접촉면으로부터 작용받는 마찰력을 운동 마찰력이라고 한다. 운동 마찰력은 외력에 상관없이 항상 일정한 값을 갖는다.
① 운동 마찰력의 크기(f') : 최대 정지 마찰력과 같이 물체의 수직 항력에 비례하며, $f'=\mu' N=\mu' mg$로 나타낸다. 운동 마찰력도 접촉면의 넓이와는 상관없고 수직 항력과 접촉면의 상태에 의해서만 달라진다.
② 운동 마찰 계수(μ') : 운동 마찰력을 나타내는 식에서 비례 상수 μ'를 운동 마찰 계수라고 하는데, 접촉면의 성질에 따라 달라진다.

3. 탄성력



[탄성력과 변형된 길이의 관계 그래프]

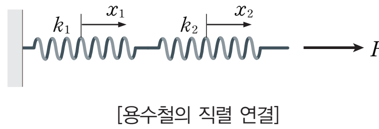
(1) 탄성 : 용수철이나 고무줄을 변형시켰을 때 원래의 상태로 돌아가려고 하는데, 이러한 성질을 탄성이라고 한다.
(2) 탄성력 : 용수철이나 고무줄을 변형시켰을 때, 원래의 상태로 돌아가기 위해 외력에 대항하여 작용하는 힘을 탄성력이라고 한다. 용수철과 고무줄에서는 변형된 길이에 비례

한다.(후크의 법칙)

$F_{탄성력} = -kx$ ((−)부호는 변형된 방향과 반대 방향으로 작용함을 의미)

(3) 용수철의 연결

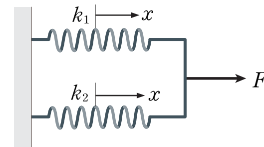
① 직렬 연결 : 탄성 계수는 작아지고, 늘어나는 길이는 증가한다.



[용수철의 직렬 연결]

- $F = k_1x_1 = k_2x_2 = kx$
- $x = x_1 + x_2$
- $\frac{F}{k} = \frac{F}{k_1} + \frac{F}{k_2}$ ➡ $\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$

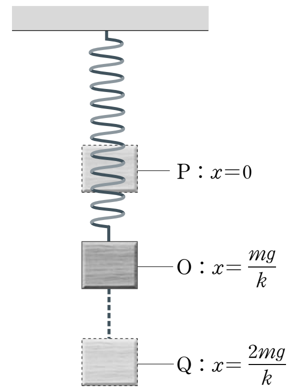
② 병렬 연결 : 탄성 계수는 커지고, 늘어나는 길이는 감소한다.



[용수철의 병렬 연결]

- $x = x_1 = x_2$
- $F = k_1x_1 + k_2x_2 = kx$ ➡ $k = k_1 + k_2$

• 용수철을 이용하여 매달아 놓은 물체의 운동



용수철이 늘어나지 않은 상태에서 물체를 매달아 잡고 있다가 물체를 갑자기 놓으면 물체는 O를 중심으로 위 · 아래로 $\frac{mg}{k}$ 만큼의 거리를 진폭으로 하여 진동한다.

4. 전기력

(1) 전기력 : 전하를 띠는 물체 사이에 작용하는 힘이다.

(2) 전기력의 종류

① 인력 : 서로 반대의 전하를 띠는 물체 사이에 작용하는 서로 끌어당기는 힘이다.

② 척력 : 서로 같은 전하를 띠는 물체 사이에 작용하는 서로 밀어내는 힘이다.


[전기력 : 인력]


[전기력 : 척력]

5. 자기력

(1) 자기력 : 자석의 두 극 사이에 작용하는 힘이다.

(2) 자기력의 종류

① 인력 : 서로 다른 두 극 사이에 작용하는 서로 끌어당기는 힘이다.

② 척력 : 서로 같은 두 극 사이에 작용하는 서로 밀어내는 힘이다.



[자기력 : 인력]



[자기력 : 척력]

과학 탐구 영역

THINK MORE ABOUT YOUR FUTURE

01. 운동량과 충격량

1. 운동량

(1) 운동량

① 운동하는 물체를 정지시키려고 할 때, 물체의 질량이 클수록, 속도가 클수록 정지시키기가 어렵다.

② 운동량 : 운동하는 물체가 갖는 운동의 정도를 나타내는 물리량으로, 질량 m인 물체가 속도 v로 운동할 때 운동량 p는 $p=mv$이다.

(2) 운동량의 변화 : 질량과 속도가 변하면 운동량이 변한다.

(3) 운동량의 효과

① 운동량이 클수록 물체를 정지시키기가 어렵다.

• 속력이 같을 때, 축구공보다 볼링공을 정지시키기가 더 어렵다.

• 질량이 같을 때, 느리게 움직이는 손수레는 쉽게 멈출 수 있지만, 빠르게 움직이는 손수레는 쉽게 멈출 수 없다.

② 운동량이 클수록 충돌하였을 때 상대 물체에 큰 영향을 준다.

• 같은 속력일 경우 오토바이가 벽에 충돌하였을 때보다, 트럭이 벽에 충돌하였을 때 벽의 파손 정도가 더 크다.

• 골프공을 유리 바로 위에서 떨어뜨리면 유리가 깨지지 않으나, 높은 곳에서 떨어뜨리면 유리가 깨진다.

2. 충격량

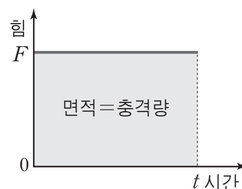
(1) 충격량

① 충격량 : 두 물체가 충돌하였을 때, 충돌하는 두 물체는 상대 물체에 힘을 가하는데, 이 힘에 의해 각 물체가 받는 충격의 정도를 충격량이라고 한다.

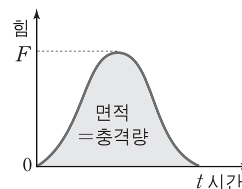
② 충격량의 크기와 방향[1] : 충격량은 작용하는 힘과 힘이 작용한 시간을 곱하여 나타낸다. 따라서 충격량은 물체가 받는 힘이 클수록, 힘을 받는 시간이 길수록 크며, 방향은 힘의 방향과 같다.

$I=F\cdot t$

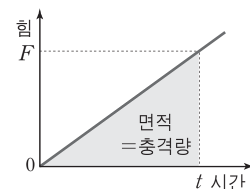
③ 힘-시간 그래프 : 충격량의 식 $I=F\cdot t$에서 충격량은 힘-시간 그래프의 면적이라는 것을 알 수 있다.



[힘이 일정할 때]



[힘이 일정하지 않을 때]



[힘이 일정하게 증가할 때]

(2) 충격량과 운동량의 관계

① 충격량과 운동량의 관계 : 충격이 가해지는 동안 작용하는 힘의 세기와 시간을 구하기 어려우므로 다음의 관계를 통해서 충격량과 운동량의 관계를 구한다.

[1] • 충격량의 방향과 운동 방향이 같을 때, 운동량이 증가한다.
• 충격량의 방향과 운동 방향이 반대일 때, 운동량이 감소한다.

$$F=m\cdot a=m\cdot\frac{v-v_0}{\Delta t} \Rightarrow F\Delta t=m\cdot v-m\cdot v_0=\Delta p$$

즉, 충격량은 운동량의 변화량과 같다.

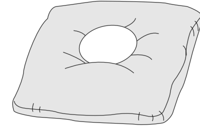
② 힘과 충격량의 관계

- 동일한 힘이 작용할 때, 힘이 작용하는 시간이 길수록 충격량이 크다.
- 동일한 충격량을 받더라도 힘을 작용 받는 시간이 길수록 충격력이 작다.

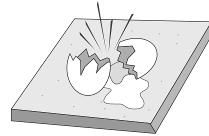
③ 충격량과 충격력의 예

- 동일한 총일 경우 총신이 긴 총으로 쏜 총알이 더 멀리 날아간다.
- 야구공을 받을 때 손을 뒤로 빼면서 받으면 덜 아프다.
- 자동차 충돌 사고가 났을 때, 에어백이 있으면 운전자가 받는 충격이 작아진다.

• 달걀이 동일한 높이에서 떨어지는 경우



[푹신한 방석 위로 떨어질 때]



[콘크리트 바닥에 떨어질 때]

02. 운동량 보존

1. 운동량 보존 법칙

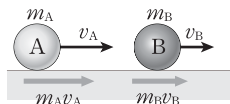
(1) 충돌❷ 시 운동량 변화 : 두 물체가 충돌할 때 충격량이 운동량의 변화량이므로, 두 물체 A, B가 충돌할 때, 각 물체의 운동량의 변화량은 다음과 같다.

$F_{BA}\Delta t=m_A v_A{}'-m_A v_A$

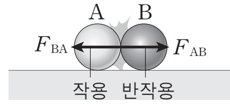
(F_{BA} : B가 A에 작용하는 힘, v_A, $v_A{}'$: 충돌 전, 후의 A의 속도)

$F_{AB}\Delta t=m_B v_B{}'-m_B v_B$

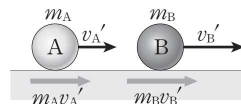
(F_{AB} : A가 B에 작용하는 힘, v_B, $v_B{}'$: 충돌 전, 후의 B의 속도)



[충돌 전]



[충돌 순간]



[충돌 후]

(2) 운동량 보존 법칙 : 작용 · 반작용 법칙에 의해서 $F_{BA}=-F_{AB}$이므로,

$m_A v_A{}'-m_A v_A=-(m_B v_B{}'-m_B v_B)$, $m_A v_A+m_B v_B=m_A v_A{}'+m_B v_B{}'$

의 관계를 만족한다.

이와 같이 충돌하는 동안 두 물체 사이에 작용하는 상호 작용 이외의 외력이 작용하지 않으면, 충돌 전 운동량의 합은 충돌 후 운동량의 합과 같은데, 이를 운동량 보존 법칙이라고 한다.

❷ 충돌의 종류

① (완전) 탄성 충돌 : 충돌 전과 후 두 물체의 상대 속도의 방향이 반대이고, 크기는 같은 경우

$|v_1-v_2|=|v_1{}'-v_2{}'|$

② 비탄성 충돌 : 충돌 전과 후 두 물체의 상대 속도의 방향이 반대이고, 크기는 작아지는 경우

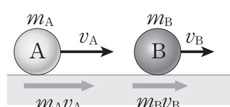
$|v_1-v_2|>|v_1{}'-v_2{}'|$

③ 완전 비탄성 충돌 : 충돌 전과 후 두 물체가 한 덩어리가 되어 운동하는 경우, 충돌 후 상대 속도가 0이 된다.

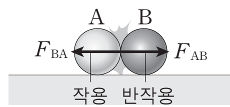
2. 운동량 보존의 예

(1) 충돌 시 : 물체가 충돌할 때, 두 물체 사이의 상호 작용 이외의 어떠한 외력도 작용하지 않으면 충돌 전과 후 운동량의 합은 항상 보존된다.

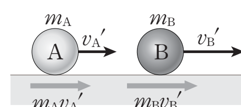
① 충돌 후 서로 다른 속력으로 운동할 때



[충돌 전]



[충돌 순간]

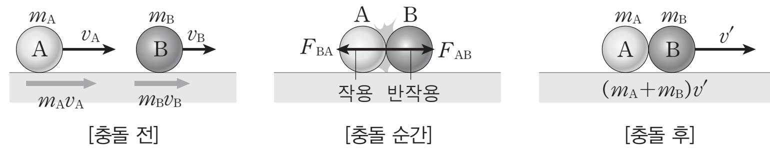


[충돌 후]

$$m_A v_A+m_B v_B=m_A v_A{}'+m_B v_B{}'$$

• 충돌 전·후 역학적 에너지
① 완전 탄성 충돌
– 충돌 전·후 운동량 보존
– 충돌 전·후 역학적 에너지 보존
② 비탄성 충돌
– 충돌 전·후 운동량 보존
– 충돌 전·후 역학적 에너지 감소
③ 완전 비탄성 충돌
– 충돌 전·후 운동량 보존
– 충돌 전·후 역학적 에너지 감소
– 충돌 후 한덩어리가 되어 운동함

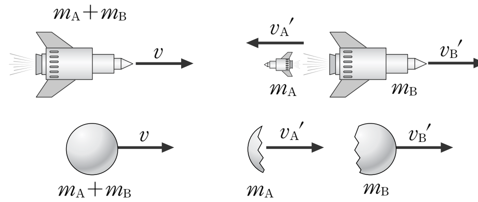
② 충돌 후 한 덩어리가 되어 운동할 때



[충돌 전]　[충돌 순간]　[충돌 후]

$$m_Av_A+m_Bv_B=(m_A+m_B)v'$$

(2) 분열 시 : 접촉해 있던 물체가 상호 작용에 의해 분리되거나 한 물체가 내부의 폭발 등의 힘에 의해 분리될 때, 다른 외력이 작용하지 않으면 분열 전과 후의 운동량의 합은 항상 보존된다.



$$(m_A+m_B)v=m_Av_A'+m_Bv_B'$$

03. 일과 일률

1. 일

(1) 일상 생활에서의 일 : 일상 생활에서는 물건을 들고 이동하는 등, 생체 에너지를 사용하는 경우 일을 했다고 한다.

(2) 물리학에서의 일 : 물리학에서는 물체에 힘을 작용하여 힘의 방향으로 이동시켰을 때만 일을 하였다고 한다.

① 일(W)= 힘 × 이동 거리$=Fs\cos\theta$ (θ : 힘과 이동 방향 사이의 각)

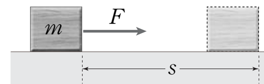
② 일의 단위 : J, N·m

(3) 일

① 수평면 위에서의 일

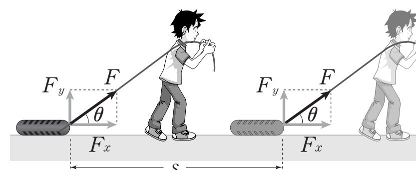
• 일과 운동 에너지
① 마찰이 없을 경우 : 외력이 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같다.
$$Fs=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$$
② 마찰이 있을 경우 : 합력이 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같다.
$$(F-f)s=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$$

• 물체에 수평 방향으로 힘을 작용하였을 때의 일



$$W=F\cdot s$$

• 물체에 수평 방향과 각 θ를 이루도록 힘을 작용하였을 때의 일

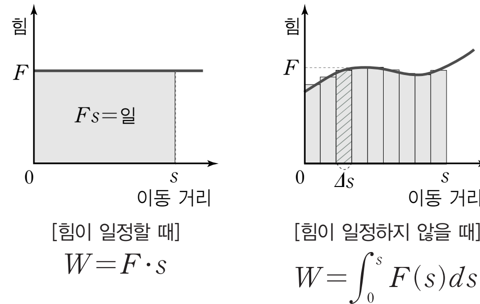


$$F_x=F\cos\theta,\ F_y=F\sin\theta$$
$$W=F_xs=Fs\cos\theta$$

② 연직 방향으로의 일 : 연직 위 방향으로 물체를 들어 올릴 때의 일[3]

2. 힘-이동 거리 그래프

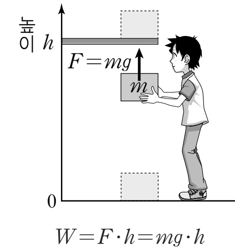
• 힘-이동 거리 그래프 아래의 면적은 물체에 해 준 일을 의미한다.



$W=F\cdot s$

$W=\int_0^s F(s)ds$

[3] 연직 위로 들어 올릴 때의 일
• 일정한 속력으로 들어올릴 때, 에너지 변화량은 $mg\Delta h$이다.
• 중력보다 큰 힘으로 끌어올릴 때, 에너지 변화량은 $mg\Delta h+\frac{1}{2}mv^2$이다.



$W=F\cdot h=mg\cdot h$

3. 일률

(1) 일률

① 일률 : 단위 시간 동안 하는 일의 양을 일률(P)이라고 한다.

$P=\frac{W}{t}$(W : 한 일의 총량, t : 일을 한 시간)

② 일률의 단위 : W(와트), J/s, HP(마력)

• 1W(와트) : 1초 동안 1J의 일을 할 때의 일률(1W=1J/s, 1kW=1000W)

• 1HP(마력) : 말 한 마리의 평균 일률(1HP=735W)

(2) 일정한 힘이 작용하였을 때[4] 물체가 등속도 운동하는 경우 물체에 하는 일의 일률 : 물체에 작용하는 힘을 F라 하고, 물체의 속력을 v라고 하면,

$$P=\frac{W}{t}=\frac{Fs}{t}=Fv$$

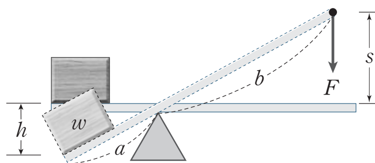
이다. 즉, 힘 F와 속력 v의 곱이 일률이다.

[4] 힘과 이동 방향이 이루는 각이 θ일 때 $P=Fv\cos\theta$

4. 일의 원리(도구를 이용한 일)

(1) 일의 원리 : 일을 할 때, 사람이 도구에 해 준 일과 도구가 물체에 해 준 일은 같다.

(2) 지레를 이용한 일 : 지레에 해 준 일과 지레가 물체에 해 준 일은 같다.



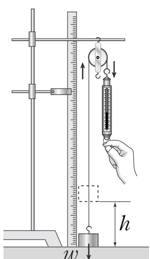
• $F=w\times\frac{a}{b},\ s=h\times\frac{b}{a}$

• $W=Fs=\left(w\times\frac{a}{b}\right)\times\left(h\times\frac{b}{a}\right)=wh$

• 힘의 이득은 있으나, 일의 이득은 없다.

(3) 도르래를 이용한 일

① 고정 도르래를 이용하는 경우

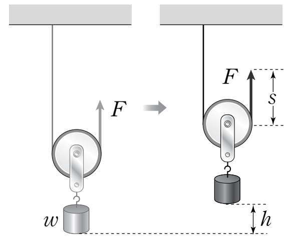


• $F=w,\ s=h$

• $W=Fs=wh$

• 힘의 이득도, 일의 이득도 없다.

② 움직 도르래를 이용하는 경우



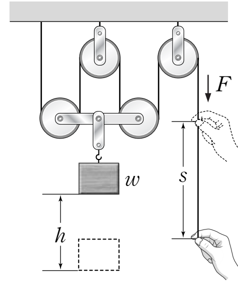
[움직 도르래가 1개인 경우]

- $F=\frac{1}{2}w,\ s=2h$
- $W=Fs=\frac{1}{2}w\times2h=wh$
- 힘의 이득은 있으나, 일의 이득은 없다.

- 움직 도르래가 n개일 경우

$F=\frac{1}{2n}w,\ s=2nh$

$W=Fs=\frac{1}{2n}w\times2nh=wh$



[움직 도르래가 2개인 경우]

- $F=\frac{1}{4}w,\ s=4h$
- $W=Fs=\frac{1}{4}w\times4h=wh$

04. 운동 에너지와 위치 에너지

1. 운동 에너지

(1) 에너지 : 한 물체가 다른 물체에 일을 할 수 있는 능력을 가지고 있을 때, 물체가 에너지를 가지고 있다고 한다. 즉, 물체가 외부에 일을 할 수 있는 능력을 에너지라고 한다.

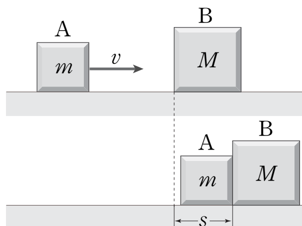
(2) 운동 에너지

① 운동 에너지 : 운동하는 물체가 가지고 있는 에너지를 운동 에너지라고 한다.

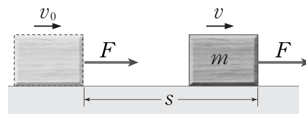
② 운동 에너지의 크기(E_K) : 물체의 질량 m에 비례하고, 속력 v의 제곱(v^2)에 비례한다.

$$E_K=\frac{1}{2}mv^2$$

(3) 일-에너지 정리 : 처음 속도 v_0인 물체에 운동 방향으로 일정한 합력 F를 가하여 거리 s만큼 운동시켜 속력이 v가 되었을 때,



- A의 마찰을 무시하고, B에 작용하는 마찰력을 f라 하면 $\frac{1}{2}mv^2=fs$이다.
- $v^2-v_0^2=2\left(\frac{F}{m}\right)\cdot s \leftarrow 2as=v^2-v_0^2$



$$v^2-v_0^2=2\left(\frac{F}{m}\right)s$$

$$Fs=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2=W$$

의 관계를 만족한다. 즉, 합력이 물체에 해 준 일의 양은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같다.

2. 위치 에너지

(1) 위치 에너지 : 힘이 작용하는 공간에서 물체를 어떤 기준점으로부터 힘의 방향과 반대 방향으로 이동시키기 위해 물체에 해 준 일만큼 물체가 위치 에너지를 갖는다.

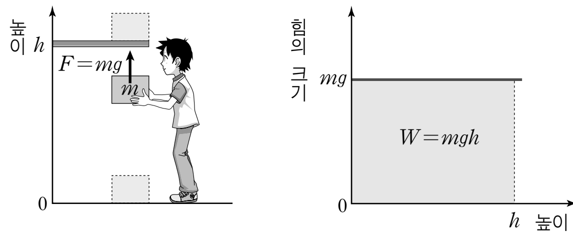
① 같은 위치에 있더라도, 기준점의 위치에 따라 위치 에너지는 달라진다.

② 두 점 사이의 위치 에너지의 차이는 기준점이 동일하다면 기준점의 위치에 상관없이 같다.

(2) 중력에 의한 위치 에너지

① 지면으로부터 높이 h인 곳에 있는 물체의 위치 에너지 : 지면에 놓인 물체를 높이 h인 곳까지 운동 에너지의 변화 없이 들어 올리는 데 필요한 일만큼 위치 에너지를 갖는다.

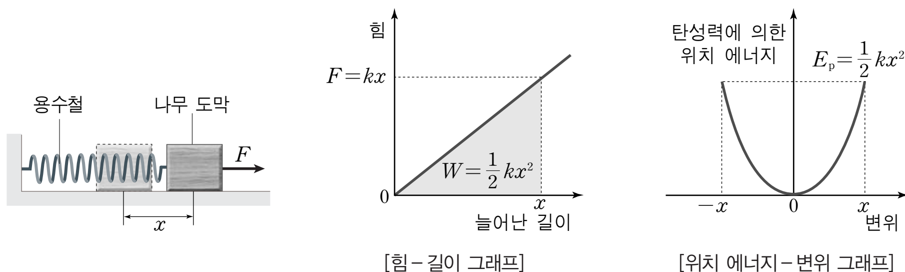
② 중력에 의한 위치 에너지의 크기 : 물체의 질량을 m, 중력 가속도를 g, 높이 변화를 h라고 하면, 물체에 해 준 일 $W=Fs=mgh$가 물체의 위치 에너지가 된다.



(3) 탄성력에 의한 위치 에너지

① 용수철의 길이를 x만큼 변화시켰을 때 용수철의 위치 에너지 : 용수철을 원래의 길이에서 일정한 속력으로 x만큼 늘이거나 압축하였을 때, 용수철에 해 준 일만큼 위치 에너지를 갖는다.

② 탄성력에 의한 위치 에너지의 크기 : 용수철의 탄성 계수를 k, 용수철의 길이 변화를 x라고 하면, 용수철에 해 준 일 $W=\frac{1}{2}kx^2$이 탄성력에 의한 위치 에너지가 된다.



[힘 – 길이 그래프] [위치 에너지 – 변위 그래프]

05. 역학적 에너지 보존

1. 역학적 에너지

(1) 역학적 에너지 : 물체가 가지는 에너지의 총합을 역학적 에너지라고 한다. 즉, 물체의 운동 에너지와 위치 에너지의 합을 역학적 에너지라고 한다.

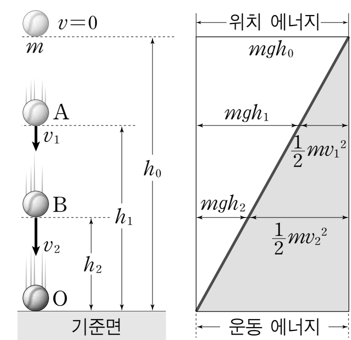
(2) 보존력 : 중력, 탄성력, 전기력 등과 같이 물체가 위치 에너지를 갖도록 하는 힘을 보존력이라고 하며, 보존력만 작용할 때 역학적 에너지가 보존된다.

(3) 중력에 의한 역학적 에너지 보존

① 자유 낙하하는 물체의 운동 에너지 변화량 : 자유 낙하하는 물체의 운동 에너지 변화량은 중력이 물체에 해 준 일과 같다.

② 중력이 물체에 해 준 일은 위치 에너지의 변화량과 같다.

$$mgh_1-mgh_2=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$$



[높이 변화와 에너지 변화 그래프]

③ 같은 높이에서의 에너지들을 같은 변으로 모으면,

$$mgh_1+\frac{1}{2}mv_1^2=mgh_2+\frac{1}{2}mv_2^2=\text{일정}$$

이다. 즉, 자유 낙하하는 물체의 역학적 에너지는 항상 같은데, 이를 중력에 의한 역학적 에너지 보존이라고 한다.

(4) 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존(Ⅰ)

① 수평면에서 진동하는 경우 물체의 운동 에너지 변화량 : 용수철에 의해서 진동하는 동안 물체의 운동 에너지 변화량은 탄성력이 해 준 일과 같다.

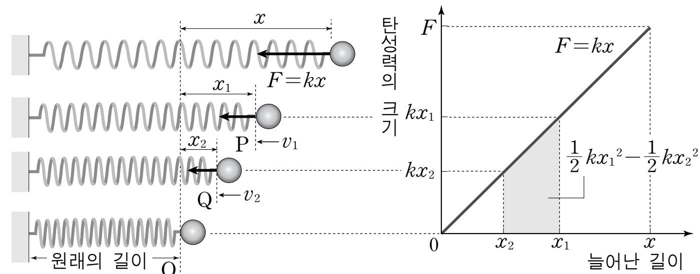
② 탄성력이 해 준 일은 탄성력에 의한 위치 에너지의 변화량과 같다.

$$\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}kx_1^2-\frac{1}{2}kx_2^2$$

③ 같은 위치에서의 에너지들을 같은 변으로 모으면,

$$\frac{1}{2}kx_1^2+\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}kx_2^2+\frac{1}{2}mv_2^2$$

이다. 즉, 탄성력에 의해 진동 운동하는 물체의 역학적 에너지는 보존된다. 이를 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존이라고 한다.



(5) 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존(Ⅱ)

① 수직면에서 진동하는 경우 물체의 운동 에너지 : 물체의 운동 에너지의 변화량은 중력이 한 일과 탄성력이 한 일의 합과 같다.

$$\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2=mgh_1-mgh_2-\left(\frac{1}{2}kx_2^2-\frac{1}{2}kx_1^2\right)$$

② 같은 위치에서의 에너지들을 같은 변으로 모으면,

$$\frac{1}{2}kx_1^2+\frac{1}{2}mv_1^2+mgh_1=\frac{1}{2}kx_2^2+\frac{1}{2}mv_2^2+mgh_1=\text{일정}$$

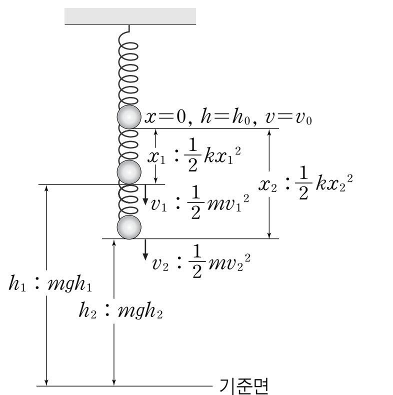
이다. 즉, 탄성력과 중력에 의해 진동 운동하는 물체의 역학적 에너지는 보존된다. 이를 탄성력과 중력에 의한 역학적 에너지 보존이라고 한다.

③ 평형점에서의 용수철이 늘어난 길이를 x라고 하면 $kx=mg$에서 $x=\frac{mg}{k}$이다.

④ 물체가 최대로 늘어나는 점에서의 중력에 의한 위치 에너지를 0으로 하면,

$$mg(x+y)=\frac{1}{2}k(x+y)^2,\ mg=\frac{1}{2}k(x+y),\ \frac{1}{2}kx=\frac{1}{2}ky\left(\because x=\frac{mg}{k}\right),\ y=x$$

이다.

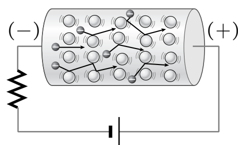


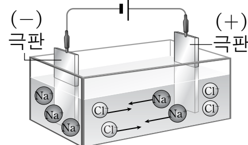
[용수철에 매달려 운동하는 물체의 역학적 에너지]

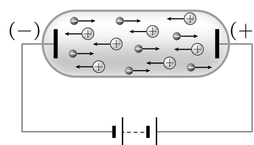
01. 전류와 전압

1. 전류와 전압

(1) 전류 : 전하[1]를 띤 입자가 일정한 방향으로 흐르는 것을 전류라고 한다.







[금속에서 전류]
(−)전하를 띤 자유 전자가 이동하여 전류를 형성한다.

[수용액에서 전류]
(+)이온은 (−)극으로, (−)이온은 (+)극으로 이동하여 전류를 형성한다.

[광전관에서 전류]
광전관의 (−)극에서 전자가 방출되고, (+)극에서 (+)이온이 방출되어 서로 반대 방향으로 이동하며 전류를 형성한다.

(2) 전류의 방향과 세기

① 전류의 방향 : 전류의 방향은 (+)전하의 이동 방향으로 정의한다.

② 전류의 세기 및 단위 : 1초 동안 도선의 한 단면을 지나는 전하의 양을 전류의 세기라고 하며, $I=\frac{Q}{t}$ 로부터 전류의 단위는 C[2]/s인데, A로 기록하고 암페어라고 읽는다.

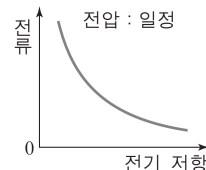
(3) 전류와 전압의 관계

① 전기 저항 : 물질에서 전류의 흐름을 방해하는 정도를 값으로 나타낸 것을 전기 저항이라고 한다.

② 전기 저항의 단위 : Ω(옴), 1Ω은 1V의 전압을 걸어주었을 때 1A의 전류를 흐르게 하는 저항값이다.

③ 전류와 전압의 관계 : 저항이 일정하면 전류는 전압에 비례한다.

④ 전류와 저항의 관계 : 전압이 일정하면 전류는 저항에 반비례한다.



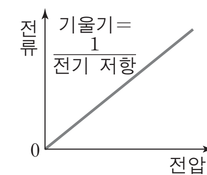
[전류와 전기 저항의 관계]

⑤ 옴의 법칙 : 일반적인 도체의 경우 전류의 세기가 전압에 비례, 즉 저항의 크기가 전압에 관계없이 일정하게 유지되는 것을 옴의 법칙이라고 한다.

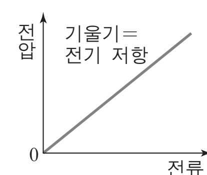
$I=\frac{V}{R}$, $V=IR$

[1] 전기의 원인이 되는 것으로, (+)전하와 (−)전하가 있다.

[2] C : 쿨롬이라고 읽으며, 전하량의 단위이다. 1C은 6.02×10^{19}개의 전하가 가지는 전하량이다.



[전류 – 전압 그래프]



[전압 – 전류 그래프]

02. 전기 저항

1. 도선의 저항과 단면적, 저항과 길이의 관계

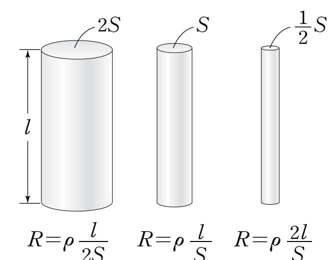
(1) 도선의 저항과 단면적의 관계 : 도선의 길이가 같을 때, 저항은 단면적에 반비례한다.

(2) 도선의 저항과 길이의 관계 : 도선의 단면적이 같을 때, 저항은 길이에 비례한다.

(3) 도선의 저항(R) : 도선의 저항은 단면적(S)에 반비례하고, 길이(l)에 비례한다.

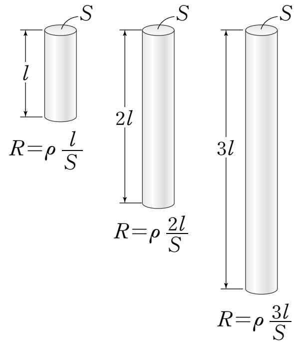
$$R=\rho\frac{l}{S}$$

• 단면적과 저항의 관계



$R=\rho\frac{l}{2S}$ $R=\rho\frac{l}{S}$ $R=\rho\frac{2l}{S}$

• 길이와 저항의 관계



• ρ : 비저항, 물질에 따라 다른 값을 가진다. 도선의 길이가 1m, 단면적이 $1m^2$일 때의 저항값이다. 단위는 Ω·m이다.

(4) 도체, 부도체, 반도체

① 도체 : 비저항이 매우 작은 물질로, 전류를 잘 통과시키는 물질. 은, 구리, 알루미늄 등의 금속

② 부도체 : 비저항이 매우 큰 물질로, 전류를 잘 통과시키지 않는 물질. 유리, 고무 등의 비금속

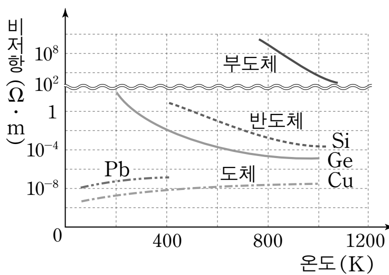
③ 반도체 : 비저항이 도체와 부도체의 중간 정도인 물질. 게르마늄, 규소 등

2. 도선의 저항과 온도의 관계

(1) 온도와 전기 저항의 관계

$R=R_0(1+\alpha T)$

(R : 온도가 T(℃)일 때의 전기 저항, R_0 : 0℃일 때의 저항, α : 전기 저항의 온도 계수)



[도체, 반도체, 부도체의 온도에 따른 비저항의 변화]

(2) 물질의 종류에 따른 온도와 전기 저항의 관계

① 도체 : 온도가 올라가면 전기 저항이 증가한다.

예 납(Pb), 구리(Cu) 등 대부분의 금속

② 반도체와 부도체 : 온도가 올라갈수록 전기 저항이 감소한다.

예 • 반도체 : 게르마늄(Ge), 실리콘(Si)
• 부도체 : 유리, 고무, 종이

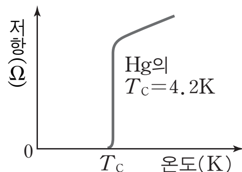
(3) 초전도체

① 온도가 내려갈 때, 저항이 감소하다가 어느 온도가 되는 순간 저항이 0에 가까이 떨어져, 그 이하의 온도에서 저항이 계속 0이 되는 현상을 초전도 현상이라고 한다.

② 임계 온도(T_C) : 저항이 0이 되는 순간의 온도를 임계 온도라고 한다.

③ 저항이 0이므로, 열이 발생하지 않아 많은 전류를 흘려서 강력한 자기장을 만들어 낼 수 있다.

예 전기 저항이 없는 송전선, 자기 부상 열차 등

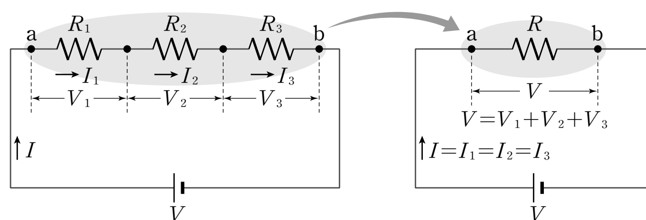


[초전도체 저항-온도 그래프]

03. 저항의 연결

1. 직렬 연결

(1) 직렬 연결 : 여러 개의 저항을 일렬로 이어서 연결하는 방식으로, 저항의 길이가 길어지는 것과 같아 전체 저항이 증가한다.



(2) 전류 : 각 저항에 흐르는 전류의 세기는 같다.

$I=I_1=I_2=I_3$

(3) 전압 : 각 저항에 걸리는 전압의 합은 전체 전압과 같다.

$V=V_1+V_2+V_3$

(4) 전압의 비 : 각 저항에 걸리는 전압의 비는 저항의 비와 같다.

$V_1:V_2:V_3=IR_1:IR_2:IR_3=R_1:R_2:R_3$

(5) 전체 합성 저항❸ : 각 저항의 합과 같다.

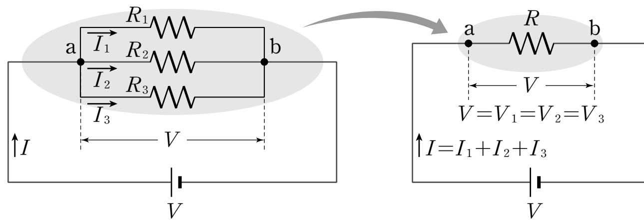
$V=V_1+V_2+V_3$

➡ $IR=IR_1+IR_2+IR_3$ ➡ $R=R_1+R_2+R_3$

❸ 합성 저항의 크기는 가장 큰 저항의 저항값보다 크다.
$R=R_1+R_2+R_3+\cdots+R_n>R_1$
$(R_1>R_2>R_3>\cdots>R_n)$

2. 병렬 연결

(1) 병렬 연결 : 여러 개의 저항을 나란하게 한 후, 같은 쪽 끝을 한 데 모아 연결하는 방식으로 저항의 단면적이 커지는 것과 같아 전체 저항이 감소한다.



(2) 전압 : 각 저항에 걸리는 전압은 같다.

$V=V_1=V_2=V_3$

(3) 전류 : 각 저항에 흐르는 전류의 합은 전체 전류와 같다.

$I=I_1+I_2+I_3$

(4) 전류의 비 : 각 저항에 흐르는 전류의 비는 저항의 역수의 비와 같다.

$I_1:I_2:I_3=\frac{V}{R_1}:\frac{V}{R_2}:\frac{V}{R_3}=\frac{1}{R_1}:\frac{1}{R_2}:\frac{1}{R_3}$

(5) 전체 합성 저항❹ : 합성 저항의 역수는 각 저항의 역수의 합과 같다.

$I=I_1+I_2+I_3$

➡ $\frac{V}{R}=\frac{V}{R_1}+\frac{V}{R_2}+\frac{V}{R_3}$

➡ $\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}$ ➡ $R=\frac{R_1R_2R_3}{R_2R_3+R_1R_3+R_1R_2}$

❹ 합성 저항의 크기는 가장 작은 저항의 저항값보다 작다.
$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\cdots+\frac{1}{R_n}>\frac{1}{R_n}$
$(R_1>R_2>R_3>\cdots>R_n)$
$\therefore R<R_n$

3. 저항의 혼합 연결

(1) 합성 저항 : 병렬 연결된 부분의 합성 저항을 구한 후, 직렬 연결된 저항과의 합성 저항을 구한다.

(2) 전류 : 직렬 연결된 저항에 흐른 전류의 세기는 병렬 연결된 저항에 흐르는 전류의 합과 같다.

04. 전류의 열작용

1. 전류의 열작용

(1) 전류의 열작용 : 저항에 전류가 흐르면 열이 발생한다. 이와 같은 현상을 전류의 열작용이라고 한다.

(2) 전기 에너지 : 전류가 공급하는 에너지

① 전기 에너지의 식 : 전기 저항이 R이고, 저항의 양단에 걸어준 전압이 V일 때, 저항에 흐르는 전류를 I라 하면, 저항에서 1초 동안 발생한 열량 E는 다음과 같다.

$$E=VIt=I^2Rt=\frac{V^2}{R}t$$

- 전류가 같으면 전기 에너지는 전기 저항에 비례한다.
- 전압이 같으면 전기 에너지는 전기 저항에 반비례한다.

② 전기 에너지의 단위 : J(줄)

- 1J : 1V의 전압이 1A의 전류를 흐르게 할 때 공급되는 전기 에너지이다.

(3) 줄의 법칙 : 열과 에너지는 상호 전환될 수 있으며, 1cal의 열량은 4.2J의 에너지에 해당한다. 이를 줄의 법칙이라고 한다.

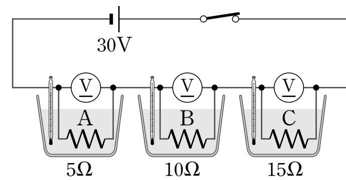
$$Q=\frac{E}{J}=\frac{1}{J}VIt=\frac{1}{J}I^2Rt=\frac{1}{J}\frac{V^2}{R}t\ (J=4.2\text{J/cal})$$

2. 저항의 연결과 발열량의 예

(1) 직렬 연결 시의 발열량

- 직렬 연결된 세 열량계에 흐르는 전류는 같다.

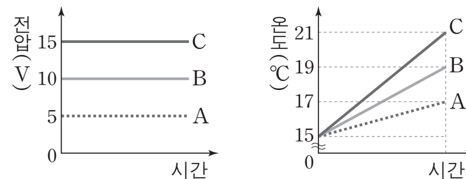
① 세 저항 A, B, C를 그림과 같이 직렬로 연결하고 스위치를 닫아 전류를 흘려주었다.



[직렬 연결 시 발열량 측정]

- 세 열량계에 흐르는 전류가 같으므로 발열량은 저항에 비례한다.
  $P_A : P_B : P_C = R_A : R_B : R_C$

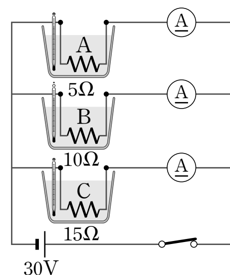
② 저항 A, B, C에 걸리는 전압과 시간에 따른 물의 온도를 측정하였더니 그래프와 같았다.



(2) 병렬 연결 시의 발열량

- 병렬 연결된 세 열량계에 흐르는 전류는 저항에 반비례한다.

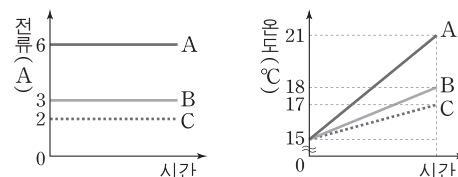
① 세 저항 A, B, C를 그림과 같이 병렬로 연결하고 스위치를 닫아 전류를 흘려주었다.



[병렬 연결 시 발열량 측정]

- 병렬 연결된 열량계에 걸리는 전압이 같으므로 발열량은 저항에 반비례한다.
  $P_A : R_B : P_C = \frac{1}{R_A} : \frac{1}{R_B} : \frac{1}{R_C}$

② 저항 A, B, C에 흐르는 전류와 시간에 따른 물의 온도를 측정하였더니 그래프와 같았다.



③ 병렬 연결된 저항에 흐르는 전류는 저항의 크기에 반비례하며, 각각의 발열량은 시간에 비례하고, 저항에 반비례한다.

3. 저항에서 열의 발생 원인

(1) 저항에서의 열의 발생 : 저항에서의 열의 발생 원리는 원자와 자유 전자의 충돌에 의하여 자유 전자의 운동 에너지가 원자에 전달되기 때문이다. 따라서 전류가 셀수록, 저항이 클수록 충돌이 더 많아지므로 발열량이 많아진다.

(2) 저항에 따른 열의 발생

기둥 구슬		
구슬이 굴러 내릴 때, 기둥과의 충돌에 의해 열이 발생한다.	구슬이 굴러 내릴 때, 기둥과의 충돌에 의해 열이 발생한다.	구슬이 굴러 내릴 때, 기둥과의 충돌에 의해 열이 발생한다.
• 구슬 : 전자 • 기둥 : 원자	기울기가 크므로 위치 에너지의 차가 크다. 즉, 전압이 큰 경우와 같다. 따라서 열이 더 많이 발생한다. • 기울기 : 전압	구슬의 수, 즉 이동하는 전자의 수가 많은 경우와 같다. 따라서 열이 더 많이 발생한다.

4. 직류와 교류

(1) 직류⑤ : 한쪽 방향으로만 흐르는 전류

① 전압의 방향 : 전압이 한쪽 방향으로 걸린다.

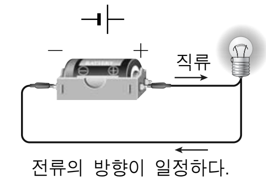
② 전류의 세기 : 전압이 일정하므로 전류의 세기가 일정하다.

(2) 교류⑥ : 전류의 방향과 세기가 주기적으로 바뀌는 전류

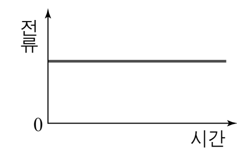
① 전압의 방향 : 전압이 주기적으로 방향이 바뀌면서 걸린다.

② 전류의 세기 : 전압이 주기적으로 변하므로 전류의 세기도 주기적으로 변하는데, 사인파 형태로 변한다.

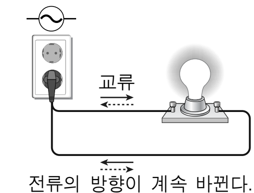
⑤ 직류



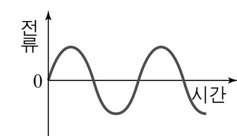
전류의 방향이 일정하다.



⑥ 교류



전류의 방향이 계속 바뀐다.



05. 전력과 전력량

1. 전력

(1) 전력 : 1초 동안 공급하거나 소비하는 전기 에너지를 전력이라고 한다.

① 전력의 계산

$$P=\frac{E}{t}=VI=I^2R=\frac{V^2}{R}$$

② 전력의 단위 : W(와트)를 사용한다. W=J/s로 일률의 단위와 같다.

(2) 전기 기구의 정격 전압과 정격 소비 전력

① 정격 전압 : 전기 기구를 안전하게 사용할 수 있는 적정 전압을 정격 전압이라고 한다.

② 정격 소비 전력 : 정격 전압에 전기 기구를 연결하여 사용할 때 소비하는 전력을 정격 소비 전력이라고 한다.

③ 전력과 전류, 저항의 관계

• 전력과 전류 : $I=\frac{P}{V}=\sqrt{\frac{P}{R}}$

• 전력과 저항 : $R=\frac{P}{I^2}=\frac{V^2}{P}$

(3) 직렬 연결과 병렬 연결에서의 소비 전력

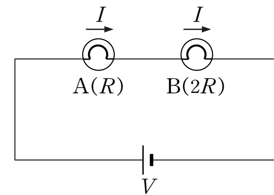
① 직렬 연결

• 전류의 비 : $I_A : I_B = 1 : 1$

• 전압의 비 : $V_A : V_B = R_A : R_B = 1 : 2$

• 소비 전력[7]의 비

$P_A : P_B = V_A I_A : V_B I_B$
$= 1\times1 : 2\times1$
$= 1 : 2$



❼ $P=VI=I^2R$

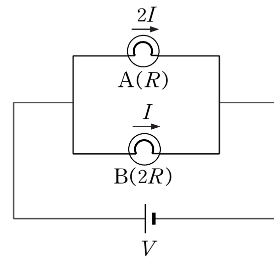
② 병렬 연결

• 전류의 비 : $I_A : I_B = \frac{1}{R_A} : \frac{1}{R_B} = 2 : 1$

• 전압의 비 : $V_A : V_B = 1 : 1$

• 소비 전력[8]의 비

$P_A : P_B = V_A I_A : V_B I_B$
$= 1\times2 : 1\times1$
$= 2 : 1$



❽ $P=VI=\frac{V^2}{R}$

2. 전력량

(1) 전력량 : 어느 시간 동안 사용한 전기 에너지의 양을 전력량이라고 한다.

① 전력량의 계산 : 소비 전력과 사용 시간의 곱과 같다.

$W=Pt$ (t : 초 단위가 아닌 시간 단위를 사용한다.)

② 전력량의 단위 : Wh(와트시), kWh(킬로와트시) 등을 사용한다.

• 1Wh : 1W의 전력으로 1시간 동안 사용한 전기 에너지의 양

➡ 1Wh=1W×3600s=1J/s×3600s=3600J

(2) 전력량계 : 가정에서 전력 사용량을 누적하여 표시하는 장치로, 일정 기준점 간의 전력량의 차이가 두 기준점 사이의 기간에 사용한 전력량이다.



[적산 전력량계]

3. 전력 손실

(1) 송전 : 발전소에서 생산된 전기 에너지를 소비지까지 전달하는 것을 송전이라고 한다.

① 손실 전력 : 전기 에너지를 송전할 때 전선의 저항 때문에 발생하는 열로 손실되는 전기 에너지이다.

$$P_{손실}=I^2\times r=\left(\frac{P_0}{V}\right)^2\times r$$

(P_0 : 발전소에서 송전하는 전력, r : 송전선의 저항, V : 송전 전압)

② 손실 전력을 줄이는 방법

• 송전 전류를 줄인다.

➡ 송전 전압을 높인다. $\left(I=\frac{P_0}{V}\right)$

➡ 송전 전압을 n배로 높이면 송전 전류가 $\frac{1}{n}$배로 감소

➡ 손실 전력은 $\frac{1}{n^2}$배로 감소

• 송전선의 저항을 줄인다.

➡ 송전선을 굵은 도선으로 교체 또는 송전 거리를 짧게 한다.

➡ 비저항이 작은 물질로 송전선을 만들면 저항이 줄어든다.

(2) 우리나라에서 가정용 전압이 110V가 아닌 220V인 이유

① 최대 허용 전류 : 전기 기구에 안전하게 흐를 수 있는 최대 전류

② 승압하는 이유

• 동일한 전력을 사용하는 경우 전압을 높이면 전류가 작아지므로 손실 전력을 줄일 수 있다.

• 가정에서 사용하는 전선의 최대 허용 전류는 일정하므로($P_{최대}=VI_{허용}$), 각 전기 기구의 전류를 작게 하면 더 많은 전기 기구를 사용할 수 있다.

• 110V의 전압은 감전 시 피해가 적지만, 220V의 전압은 감전 시 매우 위험하다.
• 감전 시 인체가 받는 충격은 전류의 세기에 비례한다.

06. 여러 가지 전기 회로

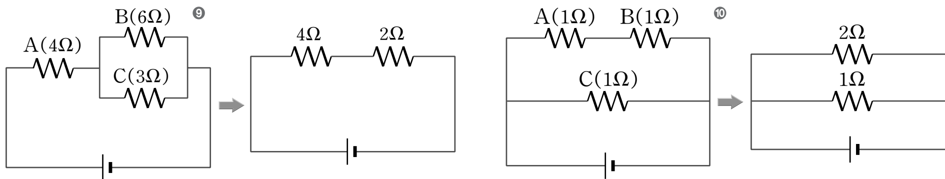
1. 직렬 연결과 병렬 연결의 혼합 연결

• 혼합 연결의 분석

➡ 부분 합성 저항을 구한다. (회로를 단순화한다.)

➡ 단순화된 회로를 해석한다.

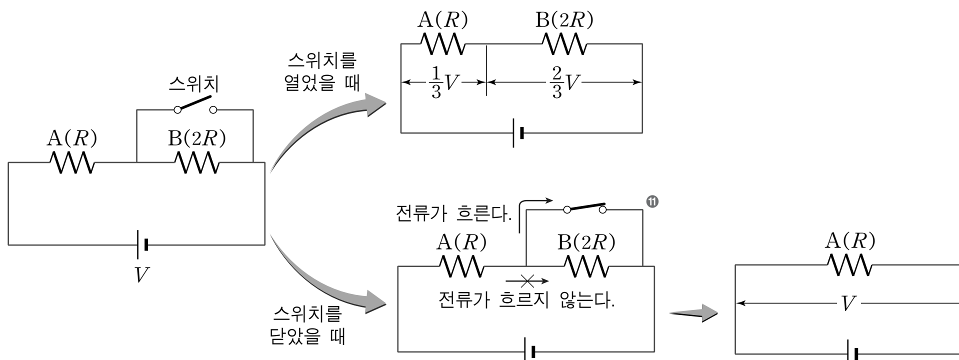
➡ 각 부분의 전압, 전류, 소비 전력을 구한다.



⑨ $V_A : V_B : V_C = 2:1:1$
$I_A : I_B : I_C = 3:1:2$
$P_A : P_B : P_C = 6:1:2$

⑩ $V_A : V_B : V_C = 1:1:2$
$I_A : I_B : I_C = 1:1:2$
$P_A : P_B : P_C = 1:1:4$

2. 스위치가 연결된 회로



⑪ 스위치와 저항이 병렬 연결되어 있을 때 스위치를 닫으면 스위치의 저항이 매우 작으므로 저항에는 전류가 흐르지 않게 된다.

(1) 스위치를 닫기 전

$$V_A : V_B = 1 : 2 = \frac{1}{3}V : \frac{2}{3}V,\ P_A : P_B = 1 : 2 = \frac{V^2}{9R} : \frac{4V^2}{9R}$$

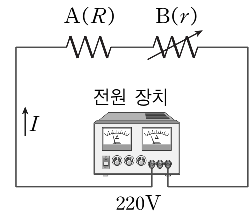
(2) 스위치를 닫은 후 : $V_A = V$로 닫기 전의 3배가 되므로 $P_A = \frac{V^2}{R}$이 되어, 닫기 전의 9배가 된다.

3. 가변 저항이 연결된 회로

(1) 직렬 연결

• 저항 R, r이 직렬 연결된 회로
$R_{전체} = R + r$
$P_{전체} = \frac{V^2}{R+r}$
$V_R = \frac{R}{R+r}V$
$V_r = \frac{r}{R+r}V$

① 가변 저항을 증가시킬 때



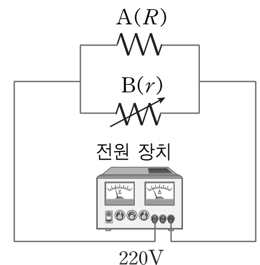
• 전체 합성 저항이 증가한다.
• 전체 합성 전류가 감소한다.
• 전체 소비 전력이 감소한다.
• A에 걸리는 전압은 감소하고, 가변 저항 B에 걸리는 전압은 증가한다.
• A에서의 소비 전력은 감소하고, 가변 저항 B에서의 소비 전력이 증가한다.

② 가변 저항을 감소시킬 때
• 전체 합성 저항이 감소한다.
• 전체 합성 전류가 증가한다.
• 전체 소비 전력이 증가한다.
• A에 걸리는 전압은 증가하고, B에 걸리는 전압은 감소한다.
• A에서의 소비 전력은 증가하고, B에서의 소비 전력은 감소한다.

(2) 병렬 연결

• 저항 R, r이 병렬 연결된 회로
$R_{전체} = \frac{Rr}{R+r}$
$P_{전체} = \left(\frac{R+r}{Rr}\right)V^2$
$V_R = V_r = V$

① 가변 저항을 증가시킬 때



• 전체 합성 저항이 증가한다.
• 전체 합성 전류가 감소한다.
• 전체 소비 전력이 감소한다.
• A와 B에 걸리는 전압은 항상 일정하다.
• A에서의 소비 전력은 일정하고, B에서의 소비 전력은 감소한다.

② 가변 저항을 감소시킬 때
• 전체 합성 저항이 감소한다.
• 전체 합성 전류가 증가한다.
• 전체 소비 전력이 증가한다.
• A와 B에 걸리는 전압은 항상 일정하다.
• A에서의 소비 전력은 일정하고, B에서의 소비 전력은 증가한다.

01. 자기력과 자기장

1. 자기력과 자기장

(1) 자성

① 자성 : 금속을 끌어당기는 성질을 자성이라고 하며, 자성을 가진 물질을 자성체 또는 자석이라고 한다.

② 자극 : 자석에서 자성이 강한 끝부분을 자극이라고 하며, N극과 S극의 두 극으로 나뉜다.

• N극의 방향 : 북쪽
• S극의 방향 : 남쪽

(2) 자기 유도

① 자기 유도 : 자석을 금속에 가까이 가져가면 금속이 자석에 달라붙는데, 이는 금속에 자석과 같은 성질이 생겼기 때문이다. 이와 같이 금속에 일시적으로 자성이 생기는 현상을 자기 유도라고 한다.

② 자화 : 자석 가까이에서 금속 조각이 자성을 띠는 것을 자화라고 한다.

(3) 자기력

① 인력 : 서로 다른 두 자석의 다른 극 사이에 작용하는 서로 잡아당기는 힘

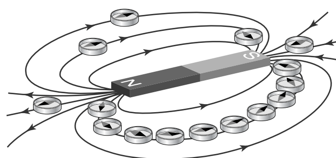
② 척력 : 서로 다른 두 자석의 같은 극 사이에 작용하는 서로 밀어내는 힘

(4) 자기장[1]

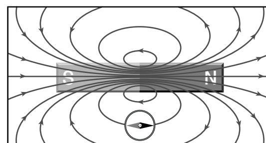
① 자기장 : 자석 주위에서 자기력이 작용하는 공간을 자기장이라고 한다.

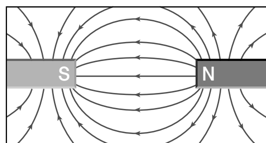
② 자기장의 방향 : 자석 주위에 나침반을 놓았을 때 N극이 가리키는 방향이 자기장의 방향이다.

③ 자기력선 : 자기장 내에서 자기장의 방향을 이은 선을 자기력선이라고 한다.

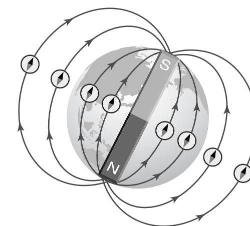


• 자기력선은 자석 외부에서는 N극에서 나와 S극으로 들어가며, 자석 내부에서는 S극에서 N극을 향한다.
• 자기력선은 도중에 끊어지거나 갈라지지 않으며, 겹치지 않는다.
• 자기력선이 조밀할수록 자기장의 세기가 세다.
• 자기력선의 한 점에서의 접선의 방향이 자기장의 방향이다.





❶ 지구 자기장
• 나침반의 N극이 북쪽을 가리키므로 지구의 북쪽은 S극, 남쪽은 N극이다.
• 지구 자기장의 방향은 매일 조금씩 변한다.



[지구 자기장]

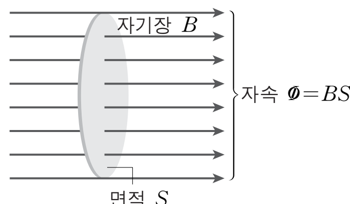
2. 자기장의 세기

(1) 자기력선속(자속 Φ) : 자기장에 수직인 단면을 지나는 자기력선의 수로 단위는 Wb(웨버)를 사용한다.

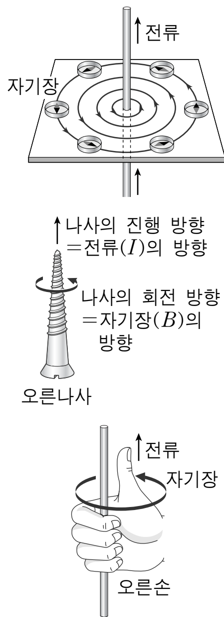
$\Phi = B \cdot S$(Wb)

(2) 자속 밀도(자기장의 세기 B) : 자기장에 수직인 단위 면적($1m^2$)을 지나는 자속(자기력선의 개수)

$B = \dfrac{\Phi}{S}$ (단위 : $Wb/m^2 = T$(테슬라))



02. 전류에 의한 자기장



[직선 전류 주위의 자기장]

1. 직선 전류 주위의 자기장

(1) 전류의 자기 작용 : 전류가 흐르는 도선 주위에 자기장이 형성되는 현상을 전류의 자기 작용이라고 한다.

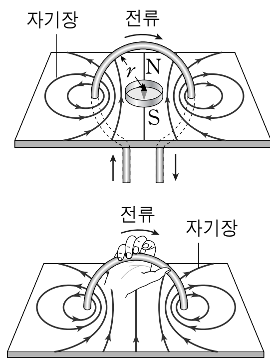
(2) 직선 전류 주위의 자기장

① 자기장의 모양 : 전류가 흐르는 도선의 방향을 축으로 하여 동심원 모양으로 생성된다.

② 자기장의 방향 : 전류의 방향으로 오른손 엄지손가락을 향하게 하고, 나머지 손가락을 감아쥘 때 감기는 방향이다.

③ 자기장의 세기 : 전류의 세기 I에 비례하고, 도선으로부터의 거리 r에 반비례한다.

$$B_{\text{직선}}=k\frac{I}{r}\,(k=2\times10^{-7}\text{N/A}^2)$$



[원형 전류에 의한 자기장]

2. 원형 전류에 의한 자기장

(1) 자기장의 모양 : 원형 도선의 각 부분을 짧은 직선 도선으로 생각하고 직선 전류에서와 같은 방법으로 자기장을 구하여 합성하면 된다.

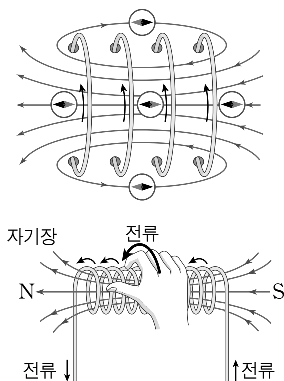
(2) 자기장의 방향

① 원형 전류 내부 : 원형 전류의 방향으로 오른손의 엄지를 제외한 나머지 손가락들을 감아쥐고, 엄지를 폈을 때 엄지의 방향이다.

② 원형 전류 외부 : 내부와 반대 방향으로 형성된다.

(3) 원형 전류 중심에서의 자기장의 세기 : 전류의 세기 I에 비례하고 원형 도선의 반지름 r에 반비례한다.

$$B_{\text{원형}}=k'\frac{I}{r}\,(k'=2\pi\times10^{-7}\text{N/A}^2)$$



[솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장]

3. 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장

(1) 자기장의 모양 : 원형 도선을 여러 개 겹쳐 놓은 후 동일한 방향으로 전류를 흘려주었을 때 자기장을 합성한 모양으로, 솔레노이드의 내부에서는 솔레노이드에 평행하게, 외부에서는 막대 자석과 같은 모양으로 형성된다.

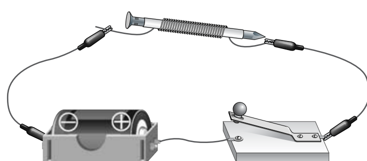
(2) 자기장의 방향

① 솔레노이드 내부 : 원형 전류의 방향으로 오른손의 엄지를 제외한 나머지 손가락들을 감아쥐고, 엄지를 폈을 때 엄지의 방향이다.

② 솔레노이드 외부 : 엄지의 방향이 N극, 그 반대편이 S극인 막대 자석과 같은 모양으로 자기장이 형성된다.

(3) 솔레노이드 중심에서의 자기장의 세기 : 전류의 세기 I에 비례하고 솔레노이드의 단위 길이당 도선의 감은 수 n에 비례한다.

$$B_{\text{솔레노이드}}=k''nI\,(k''=4\pi\times10^{-7}\text{N/A}^2)$$


[전자석]

4. 전자석

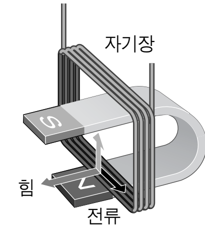
(1) 전자석의 원리 : 솔레노이드 내부에 연철 막대를 넣고 솔레노이드에 전류를 흘려주면 연철 막대가 자석과 같은 성질을 갖는다.

(2) 전자석의 장점 : 일반적인 자석과 달리 필요에 따라 전류의 세기를 조절하여 자석의 세기를 조절할 수 있다.

03. 자기력

1. 자기력(전자기력)

(1) **자기력(전자기력)** : 자석과 자석 사이, 자기장 속에서 전류가 흐르는 도선이 받는 힘을 자기력이라고 한다.



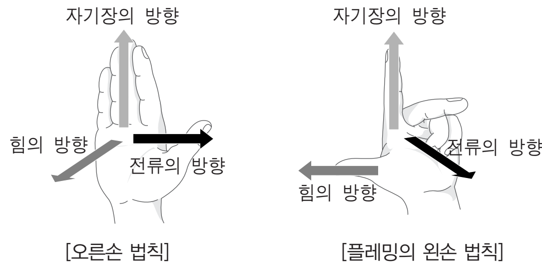
[자기장에서 전류가 받는 힘]

(2) **전류가 받는 자기력**

① **자기력의 방향**

• **오른손 법칙 : 오른손을 펴서 엄지를 제외한 네 손가락으로 자기장의 방향을, 엄지로 전류의 방향을 향하게 하면, 손바닥에 수직한 법선 방향이 자기력의 방향이다.**

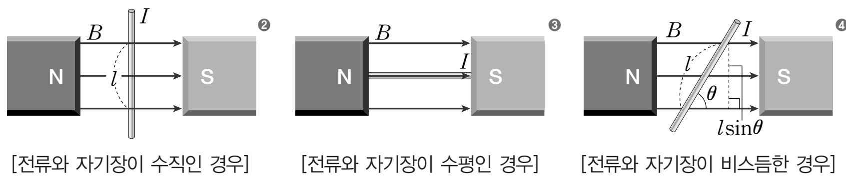
• **플레밍의 왼손 법칙 : 왼손의 중지를 전류의 방향, 검지를 자기장의 방향을 향하게 하고, 이 두 손가락이 이루는 평면에 수직하게 엄지를 폈을 때 엄지의 방향이 자기력의 방향이다.**



[오른손 법칙]　[플레밍의 왼손 법칙]

② **자기력의 크기** : 자기장 내에서 전류가 흐르는 도선이 받는 힘을 F라고 하면, F는 도선에 흐르는 전류의 세기 I 및 자기장의 세기 B에 비례하고, 자기장의 수직한 단면을 가르는 도선의 길이 l에 비례한다.

$F=BIl\sin\theta$(θ : 도선의 방향과 자기장의 방향이 이루는 각)



[전류와 자기장이 수직인 경우]　[전류와 자기장이 수평인 경우]　[전류와 자기장이 비스듬한 경우]

❷ $F=BIl$ ($\because\ \theta=90°$)
❸ $F=0$ ($\because\ \theta=0°$)
❹ $F=BIl\sin\theta$

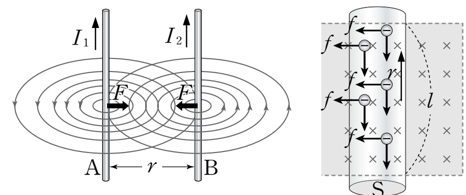
(3) **평행한 두 직선 전류 사이에 작용하는 힘**

① **전류의 방향이 같을 때** : 두 도선 사이에서 자기장이 서로 상쇄되므로 자기력의 방향은 두 도선이 가까워지는 방향, 즉 **인력이 작용한다.**

② **전류의 방향이 반대일 때** : 두 도선 사이에서 자기장이 서로 보강되므로 자기력의 방향은 두 도선이 멀어지는 방향, 즉 **척력이 작용한다.**

③ **자기력의 세기** : 두 도선 A, B에 흐르는 전류의 세기를 각각 I_A, I_B라고 하고, 두 도선 사이의 거리를 r라고 하면, I_A에 의해 I_B의 위치에 형성되는 자기장의 세기가 $B_A=k\frac{I_A}{r}$이므로, B_A에 의해 도선 B에 작용하는 자기력의 세기는 다음과 같다.

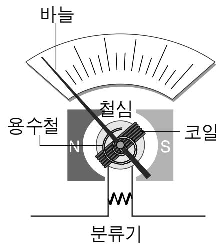
$$F_B=B_AI_Bl=k\frac{I_AI_B}{r}l$$

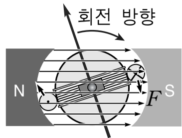


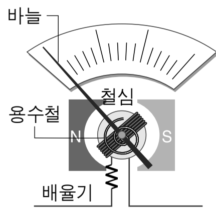
2. 자기력의 이용

(1) **전류계와 전압계** : 자기장 속에서 전류가 흐르는 도선이 받는 자기력이 전류의 세기에 비례하는 것을 이용하여 전류 및 전압의 세기를 측정하는 계기이다.

① **분류기** : 가동 코일에 병렬로 연결하여 회로에 흐르는 전류의 세기가 많이 변하지 않게 하면서 전류의 세기를 측정할 수 있도록 하는 저항을 분류기라고 하며, 코일의 저항보다 매우 작은 값을 갖는다.







[분류기와 배율기]

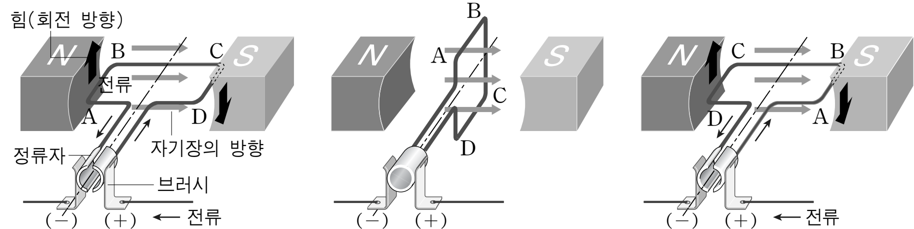
❺ 정류자 : 코일에 흐르는 전류의 방향을 변화시켜주는 장치를 정류자라고 한다.

② 배율기 : 가동 코일에 직렬로 연결하여 회로에 흐르는 전류의 세기가 많이 변하지 않게 하면서 전압의 세기를 측정할 수 있도록 하는 저항을 배율기라고 하며, 코일의 저항보다 매우 큰 값을 갖는다.

(2) 직류 전동기(모터)

① 전류가 자기장 속에서 받는 힘을 이용하여 전기 에너지를 역학적인 일로 바꾸어 주는 장치

② 전동기의 원리❺



③ 전동기의 이용 범위 : 시계, 가전 제품, 자동차, 전동차, 고속 전철, 항공기 등

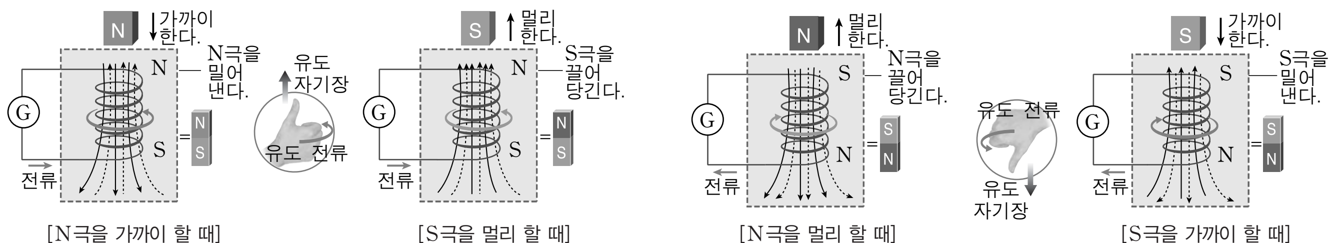
04. 전자기 유도

1. 전자기 유도

(1) 전자기 유도 : 코일과 자석의 상대적인 운동에 의해 코일에 전류가 흐르는 현상

(2) 유도 전류의 방향과 세기

① 유도 전류의 방향(렌츠의 법칙) : 코일 면을 통과하는 자속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다.



[N극을 가까이 할 때] [S극을 멀리 할 때] [N극을 멀리 할 때] [S극을 가까이 할 때]

② 유도 전류의 세기

• 코일의 감은 수가 많을수록 유도 기전력이 커지므로, 유도 전류의 세기가 세다.

• 자석을 빨리 움직일수록, 강한 자석을 사용할수록 시간에 따른 자속의 변화율이 커지므로 유도 기전력이 커져, 유도 전류의 세기가 세다.

2. 유도 기전력

(1) 유도 기전력 : 코일을 지나는 자속이 시간에 따라 변할 때 유도 기전력이 발생한다.

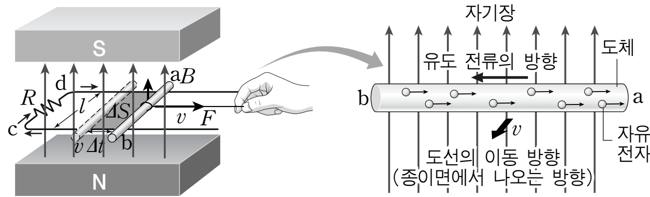
① 유도 기전력의 크기(패러데이의 법칙) : 유도 기전력 E의 세기는 코일을 지나는 자속의 시간 변화율 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$와 코일의 감은 수 N에 비례한다.

$$E=N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=N\frac{\Delta(B\cdot S)}{\Delta t}\text{(V)}$$

② 유도 기전력의 방향 : 자속의 변화를 방해하는 방향

⑵ 자기장 속에서 움직이는 도선에 생기는 유도 기전력

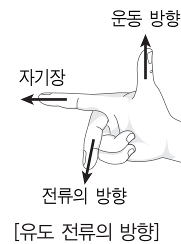
① 유도 기전력이 생기는 이유 : 그림과 같이 장치하고 ㄷ자형 도선 위에 놓은 금속 막대를 끌어 주면, 사각형 모양의 코일면을 지나는 자속이 계속 변하기 때문에 유도 기전력이 생긴다.



② 유도 기전력의 크기 : 도체 막대의 이동 속도를 v, 도체 막대의 길이를 l 이라고 할 때, 유도 기전력 E는 다음과 같다.

$$E=-N\frac{\varDelta\Phi}{\varDelta t}=-\frac{\varDelta(B\cdot S)}{\varDelta t}=-\frac{B\cdot\varDelta S}{\varDelta t}=-\frac{Blv\varDelta t}{\varDelta t}=-Blv(\mathrm{V})\ (\because N=1)$$

③ 유도 전류의 방향(플레밍의 오른손 법칙) : 오른손의 엄지를 도선의 운동 방향, 검지를 자기장의 방향으로 하고 이 두 손가락이 이루는 면에 수직한 방향으로 중지를 향하게 하였을 때, 이 방향이 유도 전류의 방향이 된다.



[유도 전류의 방향]

④ 움직이는 도선에 작용하는 힘의 방향 : ㄷ자형 도선 위에서 움직이는 도선에 작용하는 힘의 방향은 속도의 방향과 반대 방향이고 크기는 $F=BIl$ 이다.

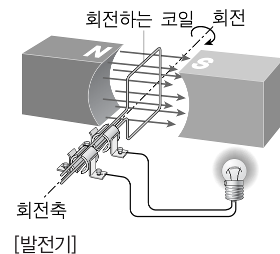
05. 전자기 유도의 이용

1. 발전기

⑴ 발전기 : 코일의 회전 운동에 사용된 역학적 에너지가 전기 에너지로 전환되는 장치

⑵ 원리 : 자석 사이에서 코일을 외부의 힘으로 회전시키면 코일을 지나는 자속이 시간에 따라 변하면서 전자기 유도에 의해 코일에 유도 전류가 흐르는 원리

⑶ 교류의 발생 : 코일의 회전에 의하여 자속의 방향과 세기가 주기적으로 변하므로, 유도 전류의 세기와 방향도 주기적으로 변하는 교류(AC)가 발생한다.



[발전기]

2. 변압기

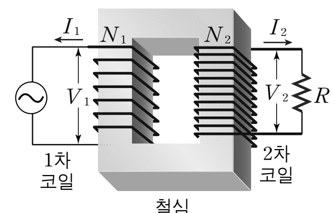
⑴ 변압기의 원리 : 상호 유도를 이용하여 1차 코일에 교류 전류가 흐를 때 발생하는 자기장의 변화에 의해 2차 코일에 유도 전류가 발생하는 원리를 이용한다.

⑵ 변압기의 전류와 전압

① 1차 코일의 전력=2차 코일의 전력 ➡ $P_1=V_1I_1=V_2I_2=P_2$

② 코일에 유도되는 전압은 코일의 감은 수에 비례 ➡ $\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{N_2}$

③ 변압기의 관계식 : $\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{N_2}=\frac{I_2}{I_1}$

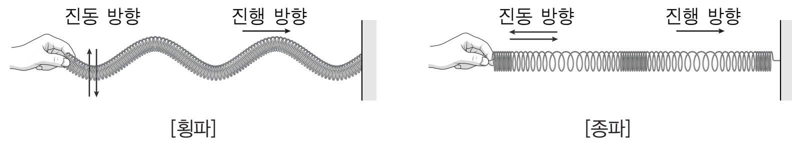


[변압기의 구조]

01. 파동의 발생과 성질

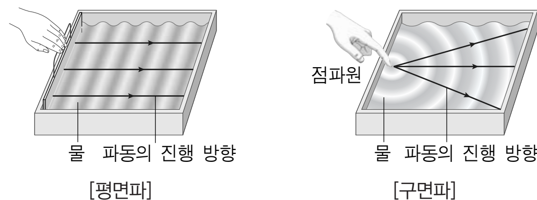
1. 파동의 발생과 종류

(1) 파동 : 매질의 한 곳에서 생긴 진동이 주위로 퍼져 나가는 현상
(2) 파동의 전파 : 파동이 전파될 때, 매질은 제자리에서 진동만 하고 에너지가 전달된다.
(3) 파동의 분류
① 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향에 따른 분류
• 횡파 : 파동의 진행 방향과 매질의 진행 방향이 수직인 파동
• 종파 : 파동의 진행 방향과 매질의 진행 방향이 서로 나란한 파동



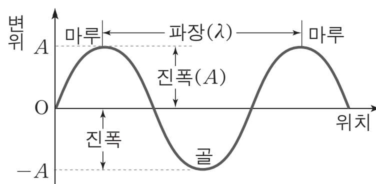
[횡파] [종파]

② 파면의 모양에 따른 분류
• 평면파 : 파동의 파면이 평행한 파동
• 구면파 : 파동의 파면이 구 모양인 파동

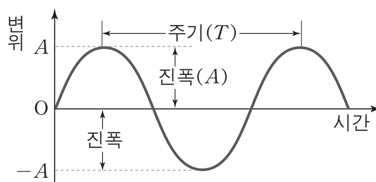


[평면파] [구면파]

2. 파동의 전파

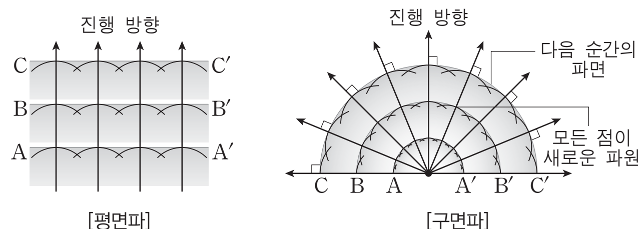


[변위–위치 그래프]



[변위–시간 그래프]

(1) 파동의 표시
① 진폭(A) : 매질의 진동의 중심에서 최대 변위까지의 거리
② 파장(λ) : 매질이 한 번 진동하는 동안 파동이 진행하는 거리
③ 주기(T) : 매질이 한 번 진동하는 데 걸리는 시간
④ 진동수(f) : 1초 동안 매질이 진동하는 횟수, $f=\frac{1}{T}$
(2) 파동의 전파 속도 : 파동은 한 주기 동안 한 파장 만큼 진행하므로 전파 속도 v는
$v=\frac{\lambda}{T}=\lambda f\left(\because f=\frac{1}{T}\right)$이다.
(3) 호이겐스의 원리 : 파동이 전파될 때, 동일 파면상의 점들이 새로운 점파원이 되어 만든 구면파들의 동일 접면이 새로운 파면을 만들면서 파동이 전파되는 원리



[평면파] [구면파]

(4) 파동의 세기(I)❶ : 파동의 세기는 파동의 진행 방향에 수직한 단위 면적을 지나는 파동 에너지로, 진폭(A)의 제곱과 진동수(f)의 제곱의 곱에 비례한다. $I = A^2f^2$

❶ 파동의 세기
- 평면파의 세기 : 진행 거리에 따라 변하지 않고 일정
- 구면파의 세기 : 동일한 에너지가 통과하는 면적이 넓어지므로 파원으로부터 멀어질수록 세기가 작아진다.

02. 파동의 반사

1. 파동의 반사

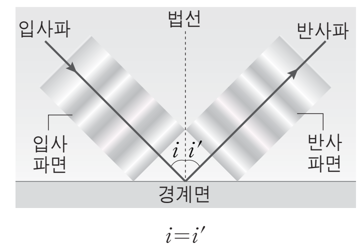
(1) 파동의 반사 : 파동이 장애물이나 성질이 다른 매질을 만났을 때 경계면에서 처음 매질로 되돌아 나오는 현상을 파동의 반사라고 한다.

(2) 반사의 법칙

① 파동이 반사할 때, 입사파와 반사파, 법선❷은 항상 동일 평면상에 있다.

② 입사각과 반사각의 크기는 항상 같다.

- 입사각(i) : 입사파와 법선이 이루는 각
- 반사각(i') : 반사파와 법선이 이루는 각



$i = i'$
[파동의 반사]

❷ 법선 : 경계면에 수직한 선

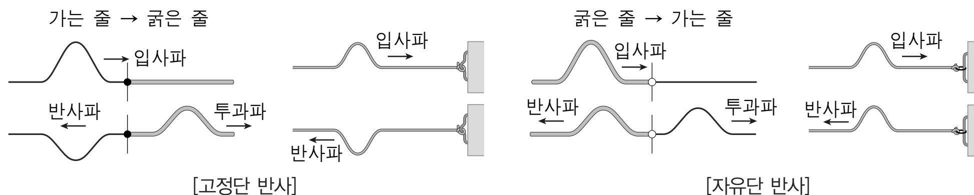
(3) 파동의 반사와 위상의 변화

① 파동이 매질의 경계면에 입사할 때, 일부는 반사하고 일부는 투과한다.

② 투과파의 위상은 변하지 않는다.

③ 반사파의 위상은 두 매질의 굴절률 차이에 의해 달라진다.

- 고정단 반사 : 매질이 굴절률이 작은 매질(소한 매질)에서 굴절률이 큰 매질(밀한 매질)로 진행하다 반사할 때 반사파의 위상이 180° 달라지는 경우
- 자유단 반사 : 매질이 굴절률이 큰 매질(밀한 매질)에서 굴절률이 작은 매질(소한 매질)로 진행하다 반사할 때 반사파의 위상이 변하지 않는 경우



[고정단 반사] [자유단 반사]

2. 빛의 반사

(1) 빛의 반사 : 빛은 전자기파의 일종으로 반사의 법칙에 따라 반사된다.

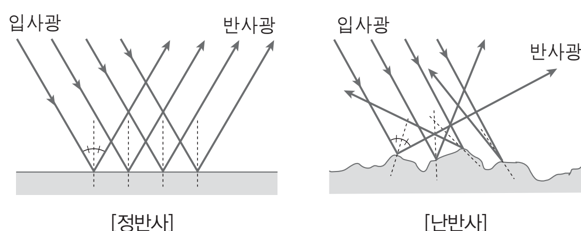
(2) 정반사와 난반사

① 정반사 : 한쪽 방향에서 나란하게 입사한 빛이 나란하게 반사되어 나가는 경우

예 거울에서의 반사

② 난반사 : 한쪽 방향에서 나란하게 입사한 빛이 반사되어 나갈 때는 방향이 제각각인 경우

예 종이면에서의 반사, 극장 스크린에서의 반사 등



[정반사] [난반사]

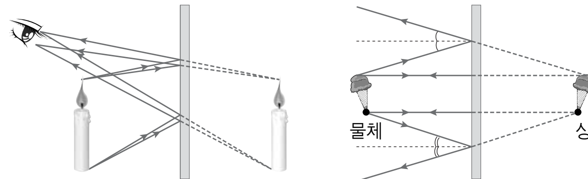
3. 평면 거울에서의 반사

(1) 평면 거울에 의한 반사 : 물체의 한 점에서 나온 빛이 반사되어 거울 뒤에서 나오는 것(허상) 처럼 보인다.

(2) 평면 거울에 의한 상의 특징

① 상의 위치와 물체의 위치는 거울에 대하여 대칭이다.

② 상의 크기는 물체의 크기와 같고, 상의 모양은 좌우가 바뀐다.



[평면 거울에 의한 반사]

③ 물체가 거울을 향해 v의 속력으로 이동하면, 상도 거울을 향해 v의 속력으로 이동한다.

④ 물체에 대한 상의 상대 속도의 크기는 $2v$이다.

⑤ 자신을 볼 수 있는 평면 거울의 최소 높이는 자신의 키의 $\frac{1}{2}$배이다.

4. 구면 거울에서의 반사

(1) 구면 거울 : 거울면이 구의 일부분과 같은 모양을 하고 있는 거울로, 오목 거울과 볼록 거울이 있다.

• 실초점과 허초점
① 실초점 : 빛이 실제로 모이는 초점 (오목 거울, 볼록 렌즈의 초점)
② 허초점 : 빛이 발산되는 것처럼 보이는 가상의 초점 (볼록 거울, 오목 렌즈의 초점)

(2) 오목 거울(빛을 모으는 성질이 있다.)

① 오목 거울의 축에 나란하게 입사한 빛은 반사되어 모두 동일한 초점 F를 지난다.

② 오목 거울의 초점 F를 향해 입사한 빛은 반사 후 거울 축에 나란하게 진행한다.

③ 오목 거울의 구심을 향해 입사한 빛은 반사 후 원래의 방향으로 되돌아간다.

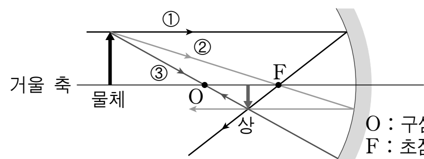
(3) 볼록 거울(빛을 퍼지게 하는 성질이 있다.)

① 볼록 거울의 축에 나란하게 입사한 빛은 반사되어 모두 동일한 초점 F′에서 나오는 것 처럼 진행한다.

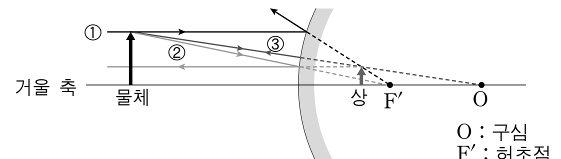
② 볼록 거울의 초점 F′를 향해 입사한 빛은 반사 후 거울 축에 나란하게 진행한다.

③ 볼록 거울의 구심을 향해 입사한 빛은 반사 후 원래의 방향으로 되돌아간다.

(4) 오목 거울과 볼록 거울에 의한 상의 작도



[오목 거울에 의한 상의 작도]



[볼록 거울에 의한 상의 작도]

(5) 오목 거울과 볼록 거울에 의한 상

오목 거울	$a=\infty$	$2f<a<\infty$	$a=2f$	$f<a<2f$	$a=f$	$a<f$
	$b=f$ 점	$f<b<2f$ 축소된 도립 실상	$b=2f$ 같은 크기의 도립 실상	$2f<b<\infty$ 확대된 도립 실상	$b=\infty$ 상이 생기지 않음	$b<0$ 확대된 정립 허상
볼록 거울	$a=\infty$	$2f<a<\infty$	$a=2f$	$f<a<2f$	$a=f$	$a<f$
	$-f<b<0$ 항상 축소된 정립 허상					

03. 파동의 굴절

1. 파동의 굴절

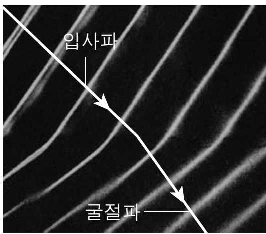
(1) 파동의 굴절[3] : 파동이 서로 다른 두 매질의 경계면에서 진행 방향이 꺾여 진행하는 현상

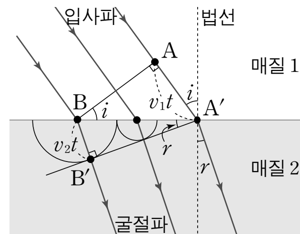
① 굴절이 일어나는 이유 : 매질의 종류에 따른 파동의 전파 속도가 다르기 때문이다.

② 굴절각 : 굴절파의 진행 방향과 법선이 이루는 각을 굴절각 r이라고 한다.

(2) 굴절의 법칙 : 파동이 매질1에서 매질2로 진행하고, 매질1에서의 파동의 속력, 파장, 굴절률, 입사각이 각각 v_1, λ_1, n_1, i이고, 매질2에서의 파동의 속력, 파장, 굴절률, 굴절각이 각각 v_2, λ_2, n_2, r이라고 할 때 다음의 관계를 만족한다.

$$n_{12}=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\text{일정}$$





$$\sin i=\frac{\overline{AA'}}{\overline{BA'}}=\frac{v_1t}{\overline{BA'}}$$

$$\sin r=\frac{\overline{BB'}}{\overline{BA'}}=\frac{v_2t}{\overline{BA'}}$$

$$\therefore\ \frac{\sin i}{\sin r}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

❸ 파동의 굴절에 의한 현상
- 아지랑이나 신기루가 보인다.
- 물에 담긴 젓가락이 꺾여 보인다.
- 낮에 소리가 위로 퍼지고, 밤에 소리가 아래로 퍼진다.

2. 빛의 굴절

(1) 빛의 굴절 : 빛도 굴절의 법칙을 따르는데, 빛의 굴절의 법칙을 스넬의 법칙이라고 한다.

① 절대 굴절률 : 빛의 진공에서의 굴절률에 대한 물질의 상대 굴절률을 그 물질의 절대 굴절률이라고 한다.

② 진공에서의 빛의 속도를 c, 굴절률을 1, 매질에서의 빛의 속도를 v, 굴절률을 n라고 하면 빛의 매질에서의 절대 굴절률은 다음과 같다.

$$n=\frac{c}{v}$$

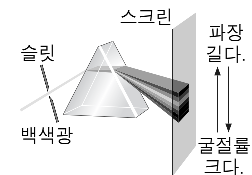
③ 두 매질 사이의 상대 굴절률 : 매질1의 굴절률을 n_1, 빛의 속도를 v_1, 매질2에서의 굴절률을 n_2, 빛의 속도를 v_2라 할 때, 매질1에 대한 매질2의 상대 굴절률은 다음과 같다.

$$n_{12}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{\frac{v_1}{c}}{\frac{v_2}{c}}=\frac{\frac{1}{n_1}}{\frac{1}{n_2}}=\frac{n_2}{n_1}$$

(2) 스넬의 법칙(빛의 굴절 법칙)

$$n_{12}=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{n_2}{n_1}=\text{일정} \Rightarrow n_1\sin i=n_2\sin r$$

(3) 빛의 분산 : 빛의 색에 따른 굴절률의 차이 때문에 프리즘을 통과한 빛이 색깔별로 분해되는 현상을 빛의 분산이라고 한다.



[빛의 분산]

3. 렌즈에 의한 빛의 굴절

(1) 렌즈에서의 빛의 굴절[4]

① 렌즈의 종류 : 렌즈는 볼록 렌즈와 오목 렌즈로 구분한다.

② 볼록 렌즈 : 가운데가 두꺼운 렌즈로 빛을 모으는 성질이 있다.

③ 오목 렌즈 : 가운데가 얇은 렌즈로 빛을 퍼지게 하는 성질이 있다.

❹ 유리의 굴절률이 공기보다 크므로 렌즈로 입사한 빛은 두꺼운 쪽으로 굴절한다.

(2) 볼록 렌즈와 오목 렌즈에 의한 상의 작도

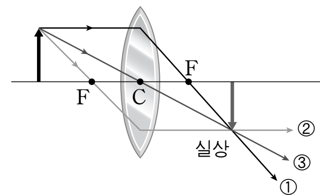
① 볼록 렌즈

- 렌즈의 축에 나란하게 입사한 빛은 굴절하여 렌즈의 초점을 통과하여 진행한다.
- 렌즈의 초점을 지나 입사한 빛은 굴절하여 렌즈의 축에 나란하게 진행한다.
- 렌즈의 중심 C로 입사한 빛은 그대로 직진한다.

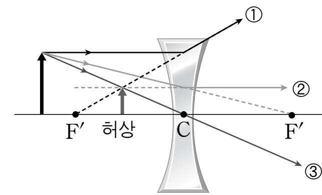
② 오목 렌즈

- 렌즈의 축에 나란하게 입사한 빛은 굴절하여 렌즈의 허초점에서 나오는 것처럼 진행한다.
- 렌즈의 허초점을 향해 입사한 빛은 굴절하여 렌즈의 축에 나란하게 진행한다.
- 렌즈의 중심 C로 입사한 빛은 그대로 직진한다.

• 근시와 원시의 교정
① 근시 : 물체의 상이 망막의 앞에 생기는 시력 장애로 오목 렌즈를 이용하여 교정한다.
② 원시 : 물체의 상이 망막의 뒤에 생기는 시력 장애로 볼록 렌즈를 이용하여 교정한다.



[볼록 렌즈]

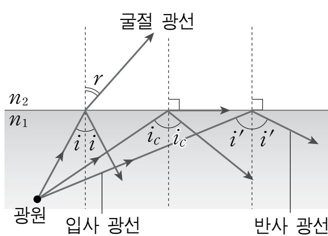


[오목 렌즈]

(3) 볼록 렌즈와 오목 렌즈에 의한 상

볼록 렌즈	$a=\infty$	$2f<a<\infty$	$a=2f$	$f<a<2f$	$a=f$	$a<f$
	$b=f$ 점	$f<b<2f$ 축소된 도립 실상	$b=2f$ 같은 크기의 도립 실상	$2f<b<\infty$ 확대된 도립 실상	$b=\infty$ 상이 생기지 않음	$b<0$ 확대된 정립 허상
오목 렌즈	$a=\infty$	$2f<a<\infty$	$a=2f$	$f<a<2f$	$a=f$	$a<f$
	$-f<b<0$ 항상 축소된 정립 허상					

04. 전반사와 편광



[전반사]

1. 전반사 : 빛이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행할 때 굴절각이 90°가 되는 입사각(임계각 : i_c)보다 큰 입사각으로 입사할 때, 경계면에서 전부 반사되는 현상을 전반사라고 한다.

$$\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin i_c}{\sin 90^\circ},\quad \sin i_c=\frac{n_2}{n_1}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

2. 편광

(1) 편광 : 모든 방향으로 진동하면서 진행하는 자연광과는 다르게 어느 특정한 방향으로만 진동하면서 진행하는 빛을 편광이라고 한다.

(2) 편광이 일어나는 원인

① 자연광이 유리나 물과 같이 투명한 물체에 입사할 때, 반사광은 입사 평면에 수직하게 편광된다.

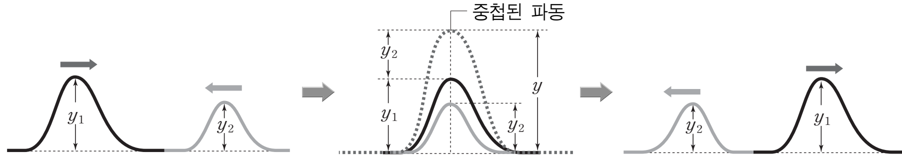
② 편광이 일어나는 정도는 입사각에 따라 다르다.

(3) 편광의 확인 : 편광된 빛, 즉 반사광과 굴절광을 편광판으로 보면 편광판이 90° 회전할 때마다 밝기가 변하는 것으로부터 확인할 수 있다.

05. 파동의 간섭

1. 파동의 간섭

(1) 중첩의 원리 : 두 파동이 만나 겹치면 새로운 모양의 합성파가 형성되며, 이때 합성파의 변위 y는 각 파동의 변위 y_1, y_2의 합과 같다. ➡ $y=y_1+y_2$

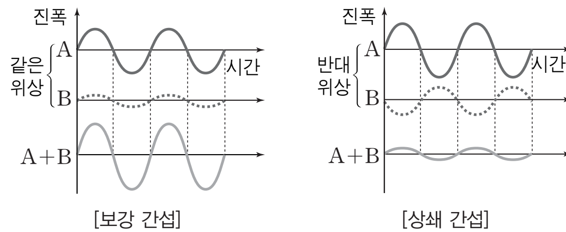


(2) 파동의 독립성 : 중첩이 끝난 파동은 각각 원래의 파형과 방향을 유지하면서 계속 독립적으로 진행한다.

(3) 보강 간섭과 상쇄 간섭

① 보강 간섭 : 두 파동이 같은 위상으로 중첩되어 진폭이 커지는 현상

② 상쇄 간섭 : 두 파동이 반대 위상으로 중첩되어 진폭이 작아지는 현상



[보강 간섭]　[상쇄 간섭]



[물결파의 간섭 무늬]

2. 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭

(1) 보강 간섭 : 이중 슬릿을 동일한 위상으로 통과한 빛의 스크린 상에서의 경로차[5]가 파장의 정수배이면 밝은 무늬가 나타난다.

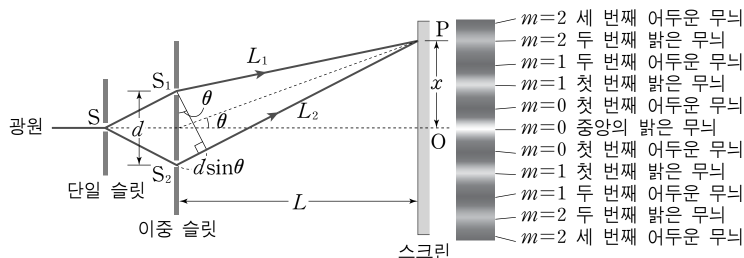
• 파동의 마루와 마루, 골과 골이 만나는 경우

$$\Delta=\frac{dx}{L}=\frac{\lambda}{2}(2m)(m=0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$$

(2) 상쇄 간섭 : 이중 슬릿을 동일한 위상으로 통과한 빛의 스크린 상에서의 경로차가 반파장의 홀수배이면 어두운 무늬가 나타난다.

• 파동의 마루와 골이 만나는 경우

$$\Delta=\frac{dx}{L}=\frac{\lambda}{2}(2m+1)(m=0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$$

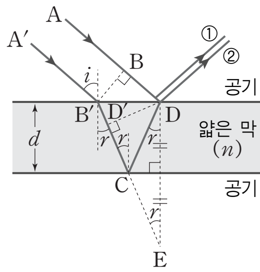


(3) 간섭 무늬 사이의 간격과 빛의 파장

$$\Delta x=\frac{L\lambda}{d} \Rightarrow \lambda=\frac{d\Delta x}{L}$$

❺ 경로차 : $\Delta=|\overline{S_1P}-\overline{S_2P}|=d\sin\theta\fallingdotseq d\frac{x}{L}$

3. 얇은 막에 의한 빛의 간섭



[막에 의한 빛의 간섭]

(1) 막에 의한 빛의 간섭 : 막의 위쪽에서 반사된 빛과 아래쪽에서 반사한 빛이 간섭하여 알록달록한 무늬를 만든다.

(2) 경로차 : 그림에서 ①과 ②의 경로차는 다음과 같다.

$\varDelta=\overline{D'C}+\overline{CD}=\overline{D'E}=2nd\cos r$

(3) 간섭 조건

① 보강 간섭 : $2nd\cos r=\dfrac{\lambda}{2}(2m+1)(m=0,\ 1,\ 2,\ \cdots)$

② 상쇄 간섭 : $2nd\cos r=\dfrac{\lambda}{2}(2m)(m=1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$

06. 파동의 회절

1. 파동의 회절

(1) 파동의 회절[6] : 파동이 장애물을 만나거나 좁은 틈을 통과할 때, 장애물 뒤쪽까지 넓게 퍼져 전달되는 현상을 회절이라고 한다.

(2) 회절의 정도

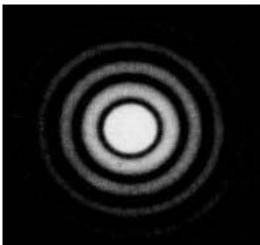
① 슬릿의 틈이 같을 때 : 파장이 길수록 회절이 잘 일어난다.

② 파장이 같을 때 : 슬릿의 폭이 작을수록 회절이 잘 일어난다.


[슬릿의 틈이 같을 때] [파동의 파장이 같을 때]

❻ 파동의 회절 예
- 담장 너머의 소리를 듣는다.
- 방파제 뒤로 파도의 전달
- 건물 뒤나 산 너머로 전파의 전달

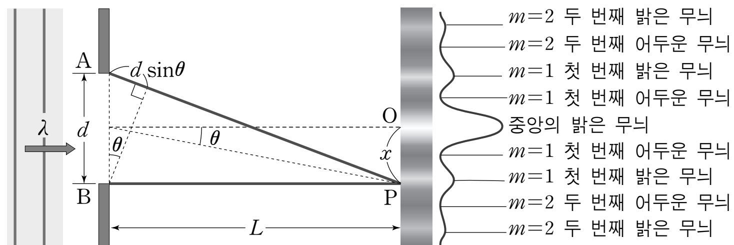
2. 빛의 회절


[빛의 회절 무늬]

(1) 빛의 회절 : 빛이 좁은 틈을 지나면 넓게 퍼져서 진행하는데, 이를 스크린에 비추어 보면 밝고 어두운 무늬가 나타난다.

(2) 단일 슬릿에 의한 빛의 회절

① 회절 무늬 : 가운데에 밝은 무늬가 넓게 나타나며, 외부로 가면서 어두운 무늬와 밝은 무늬가 교대로 나타나는데, 밝은 무늬의 밝기가 점점 어두워진다.



② 밝은 무늬 조건 : $d\sin\theta=\dfrac{dx}{L}=\dfrac{\lambda}{2}(2m+1)(m=1,\ 2,\ \cdots)$

③ 어두운 무늬 조건 : $d\sin\theta=\dfrac{dx}{L}=\dfrac{\lambda}{2}(2m)(m=1,\ 2,\ \cdots)$

07. 정상파

1. 정상파

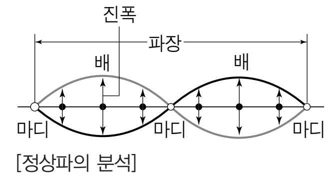
(1) 정상파 : 진폭, 파장, 진동수가 같은 두 파동이 서로 반대 방향으로 진행하여 중첩하면 마치 파동이 전파되지 않고 제자리에서 진동하는 것처럼 보이는데, 이를 정상파라고 한다.

(2) 정상파의 분석

① 배 : 정상파에서 변위가 가장 큰 곳

② 마디 : 정상파에서 진동하지 않는 곳

③ 진폭 및 파장 : 정상파의 진폭은 중첩되기 전의 두 파동의 진폭의 합과 같고, 파장은 각 파동의 파장과 같다.



[정상파의 분석]

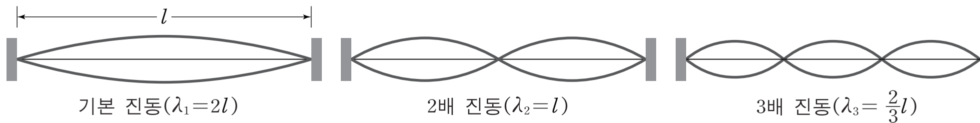
(3) 양 끝이 고정된 현에서의 정상파

① 양 끝이 마디가 되는 정상파가 나타난다.

② 기본 진동 : 정상파 중 파장이 가장 긴 경우로, 현의 길이가 반파장인 경우이다.

③ 현의 길이를 l, 정상파의 파장을 λ_n, 진동수를 f_n이라고 하면 다음을 만족한다.

$$\lambda_n=\frac{2l}{n},\quad f_n=\frac{v}{\lambda_n}=\frac{v}{2l}n\ (n=1, 2, 3\cdots)$$



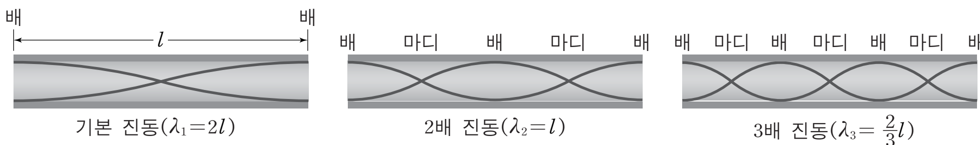
기본 진동($\lambda_1=2l$) 2배 진동($\lambda_2=l$) 3배 진동($\lambda_3=\frac{2}{3}l$)

(4) 공기 기둥(기주)의 진동

① 양 끝이 열린 개관에서의 진동

- 양 끝이 배가 되는 정상파 생성
- 기본 진동 : 관의 길이가 $\frac{1}{2}$파장이 된다.
- 현의 길이를 l, 정상파의 파장을 λ_n, 진동수를 f_n이라고 하면 다음을 만족한다.

$$\lambda_n=\frac{2l}{n},\quad f_n=\frac{v}{\lambda_n}=\frac{v}{2l}n\ (n=1, 2, 3\cdots)$$

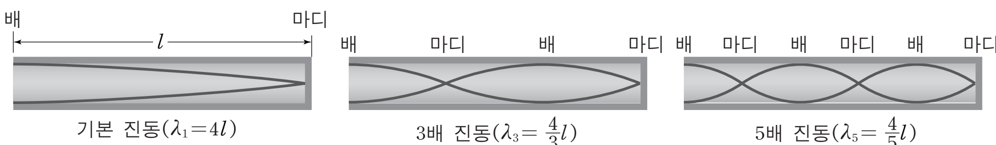


기본 진동($\lambda_1=2l$) 2배 진동($\lambda_2=l$) 3배 진동($\lambda_3=\frac{2}{3}l$)

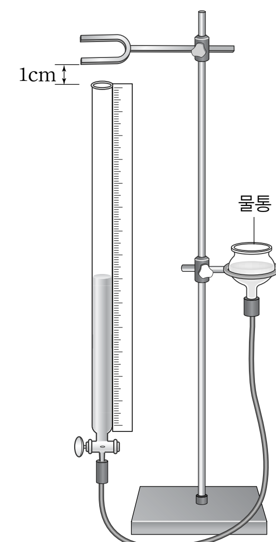
② 한쪽 끝이 닫힌 폐관에서의 진동

- 열린 곳은 배, 닫힌 곳은 마디가 되는 정상파 생성
- 기본 진동 : 관의 길이가 $\frac{1}{4}$파장이 된다.
- 현의 길이를 l, 정상파의 파장을 λ_n, 진동수를 f_n이라고 하면 다음을 만족한다.

$$\lambda_{2n-1}=\frac{4l}{2n-1},\quad f_{2n-1}=\frac{v}{\lambda_{2n-1}}=\frac{v}{4l}(2n-1)\ (n=1, 2, 3\cdots)$$



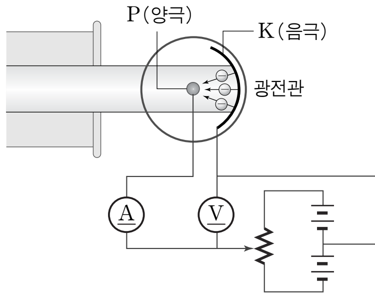
기본 진동($\lambda_1=4l$) 3배 진동($\lambda_3=\frac{4}{3}l$) 5배 진동($\lambda_5=\frac{4}{5}l$)



[기주 공명 실험 장치]

08. 빛과 물질의 이중성

1. 광전 효과



[광전 효과 실험 장치]

(1) 광전 효과 : 금속 표면에 특정 진동수 이상의 빛을 쪼여줄 때 빛의 세기나 빛을 쪼여준 시간에 상관없이 광전자가 방출되는 현상

(2) 광전관 : 광전 효과를 실험하는 장치이다.

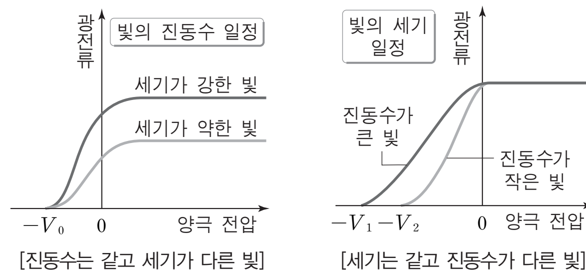
① 광전관의 음극 K의 금속판에 빛을 쪼여준다.

② 빛의 진동수가 금속판의 한계 진동수 이상이면 금속판에서 광전자가 방출된다.

③ 방출된 광전자는 전기력에 의해 양극 P로 끌려간다.

④ 정지 전압 : 양극 P와 음극 K의 전위를 조절하여 양극의 전위를 (−)로 증가시켜 줄 때 어느 순간 광전류가 흐르지 않게 되는데, 이때의 전압을 정지 전압 V_0라고 하며, 광전자의 최대 운동 에너지 E_K와 정지 전압 V_0 사이에는 다음의 관계가 성립한다.

$E_K = eV_0$



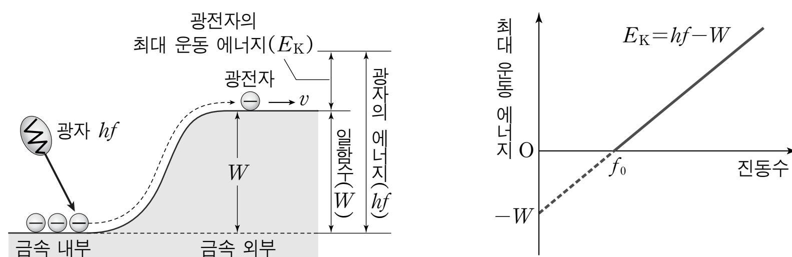
[진동수는 같고 세기가 다른 빛]　[세기는 같고 진동수가 다른 빛]

2. 빛의 이중성

(1) 광양자설 : 빛의 파동설에서의 광전 효과의 모순[7] 설명을 위해 제시

① hf의 에너지를 갖는 광자가 전자와 충돌하면 광자 에너지의 일부는 전자를 금속 표면에서 떼어내는 에너지(일함수 W)로 사용되고, 나머지는 광전자의 운동 에너지 E_K로 전환된다.

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 = eV_0 = hf - W = hf - hf_0 = h\frac{c}{\lambda} - h\frac{c}{\lambda_0} \ (V_0 : \text{정지 전압})$$



② 일함수(W) : 전자가 금속을 빠져나오는 데 필요한 최소한의 에너지로 다음과 같다.

$$W = hf_0 = h\frac{c}{\lambda_0} \ (f_0 : \text{한계 진동수}, \lambda_0 : \text{한계 파장})$$

③ 한계 진동수(f_0) : 일함수에 해당하는 빛의 진동수로, 금속마다 다른 값을 가진다.

(2) 빛의 이중성 : 빛은 어떤 경우에는 파동성을 나타내고, 또 다른 경우에는 입자성을 나타낸다.

① 빛의 파동성의 증거 : 빛의 간섭, 회절, 편광 현상

② 빛의 입자성의 증거 : 광전 효과, 콤프턴 효과

❼ 광전 효과에 대한 빛의 파동설의 모순
파동설에서는
- 밝은 빛을 비춰 주면 광전자가 방출된다.
- 빛의 세기가 셀수록 광전자의 운동 에너지가 커진다.
- 빛의 세기가 약해도 오랫동안 비춰 주면 광전자가 방출된다.

09. 물질파

1. 물질파

(1) 물질파(드브로이파) : 전자나 양성자 등과 같은 입자도 파동의 성질을 가지는데, 특정 입자가 파동의 성질을 나타낼 때의 파동을 물질파(드브로이파)라고 한다.

(2) 물질파의 파장 : 질량 m, 속도 v인 입자의 물질파 파장을 λ라고 하면 다음과 같다.

$$\lambda=\frac{h}{mv}=\frac{h}{p}$$

① 물질파는 파장이 짧을수록 입자성이 잘 나타나고, 파장이 길수록 파동성이 잘 나타난다.

② 일반적으로 눈에 보이는 입자들은 물질파 파장이 너무 짧아서 파동성을 검증하기 힘들다.

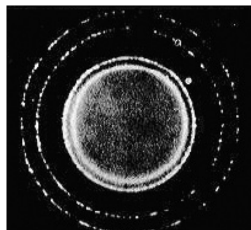
2. 전자의 파동성

(1) 전자의 파동성 실험

① 톰슨의 실험 : 금속박을 통과한 X선은 회절 무늬를 만든다.

② 데이비슨과 거머의 실험 : 얇은 니켈판을 투과한 전자선이 회절 무늬를 나타내었고, 이 실험으로부터 얻은 파장이 드 브로이가 제안한 파장과 일치하였다.


[X선의 회절 무늬]


[전자선의 회절 무늬]

(2) 전압 V로 가속한 전자의 물질파 파장 : 전자의 질량을 m, 전하량을 e라고 하면, 전자를 전압 V로 가속시켰을 때의 운동 에너지는 $E=\frac{1}{2}mv^2=eV$이다. 전자의 물질파 파장이 $\lambda=\frac{h}{mv}$인데, 운동 에너지의 관계식으로부터 $mv=\sqrt{2meV}$이므로, $\lambda=\frac{h}{\sqrt{2meV}}$이다.

(3) 물질의 이중성

① 질량이 아주 작은 입자들은 물질파[8] 파장이 길어서 파동성이 잘 관찰된다.

② 물질의 파동성과 입자성은 동시에 관찰되지 않는다.

③ 입자성과 파동성의 관계

- 입자성 : 에너지(E), 운동량(p) ➡ $E=\frac{p^2}{2m}$
- 파동성 : 진동수(f), 파장(λ) ➡ $v=f\lambda$

❽ 물질파의 이용
- 전자 현미경 : 빛보다 파장이 짧은 전자선을 사용하여 분해능이 좋다.
- 금속 결정체의 내부 구조 연구 : 전하를 띠는 전자의 물질파 대신에 전하를 띠지 않는 중성자를 이용하여 금속 결정의 내부 구조를 연구한다.